

HYGIÈNE & SÉCURITÉ DU TRAVAIL

La revue technique de l'INRS
juillet • août • septembre 2022

N° 268

/ Décryptage /

Risques photobiologiques
liés aux équipements
de désinfection UV-C

/ Notes techniques /

Influence de l'humidité
de l'air exhalé
sur la respirabilité
des masques

Prévention du risque
chimique dans
les espaces confinés

/ Étude de cas /

Violences externes
en services d'urgences
hospitalières

/ Base de données /

Exposition aux substances
visées par les mises à jour
des VLEP



Dossier

Hommes – robots : collaborer en sécurité

L'INRS

L'institut national de recherche et de sécurité (INRS) pour la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles est une association loi 1901, créée sous l'égide de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam). L'Institut est géré par un conseil d'administration paritaire composé, à parts égales, d'un collège représentant les employeurs et d'un collège représentant les salariés, présidé alternativement par un représentant d'un de ces collèges. Financé en quasi-totalité par l'Assurance maladie – Risques professionnels, à qui il apporte son concours, l'INRS inscrit son action dans le cadre des orientations de la branche Accidents du travail – Maladies professionnelles (AT/MP). Ses domaines de compétences couvrent les risques physiques (bruit, vibrations, champs électromagnétiques, machines...), chimiques, liés aux substances comme aux procédés (solvants, poussières...), biologiques (infectieux, immunoallergiques...), électriques, incendie / explosion, psychosociaux et organisationnels... Sa mission est de contribuer à la prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles et plus précisément:

- d'identifier les risques professionnels;
- d'analyser leurs conséquences sur la santé de l'homme au travail;
- de concevoir, de diffuser et de promouvoir des solutions de prévention auprès de tous les acteurs de prévention: chefs d'entreprise, salariés, élus CSE/CSSCT/CHSCT/DP/RP, agents du réseau Assurance maladie – Risques professionnels (AM-RP), spécialistes de la prévention des risques professionnels en entreprise ou en expertise/conseil, services de santé au travail... Les activités de l'INRS s'organisent selon quatre axes (en plus des métiers supports): études et recherche, assistance, formation et information/communication.

➤ Notre métier, rendre le vôtre plus sûr



Retrouvez-nous sur le Web:

Abonnez-vous en ligne sur

hst.fr 

ÉQUIPE DE RÉDACTION

Antoine Bondéelle
Rédacteur en chef, INRS
Patricia Bernard
Rédactrice en chef adjointe, INRS
Aline Marcelin (INRS),
Taina Grastilleur, Maud Foutieau
Corrections, secrétariat de rédaction
Amélie Lemaire (INRS),
Nathalie Florczak
Maquettes et infographies
Nadia Bouda
Iconographe, INRS
Sandrine Voulyzé
Chargée de fabrication, INRS
Nadège Marmignon
Assistante, INRS

COMITÉ ÉDITORIAL

Agnès Aublet-Cuvelier
Direction des Études et recherches,
INRS
Patricia Bernard,
Antoine Bondéelle
Équipe de rédaction, INRS
Séverine Brunet
Directrice des Applications, INRS
Louis Laurent
Directeur des Études et recherche,
INRS
Jean-Pierre Leclerc
Chef du département Ingénierie
des procédés, INRS
Fahima Lekhchine
Chef du département Information
et communication, INRS
Jérôme Triolet
Chef du département Expertise
et conseil technique, INRS
Delphine Vaudoux
Responsable du pôle Publications
périodiques, INRS

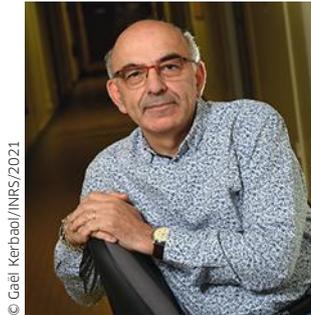
ONT PARTICIPÉ À CE NUMÉRO :

Sylvain Acoulon,
Alain Balsière, Patricia Battais,
Jean-Christophe Blaise,
Damien Brissinger, Sandrine Chazelet,
Benoît Courrier, Sophie Deleys,
Jean-Marc Deniel, Corinne Dogan,
Julie Dréano, Bruno Galland,
Ludovic Hainoz, Benoît Iung,
Sullivan Lechêne, Laure Le Douce,
Diane Magot, Gautier Mater,
Gérard Moutche, Rémy Roignot,
Audrey Santandrea,
Jean-François Sauvé,
Adel Sghaier, David Tihay,
Corinne Van de Weerd,
Liên Wioland,
et le pôle Information juridique.

Photo de couverture :
© Patrick Delapierre
pour l'INRS/2017

L'édito de...

BENOÎT IUNG, Professeur à l'Université de Lorraine,
chercheur au Centre de recherche en automatique de Nancy, UMR CNRS 7039



© Gaël Kerbaol/INRS/2021

Pour répondre à certains enjeux, principalement d'augmentation de la flexibilité et de réduction de la pénibilité sur les lignes de production, un axe d'originalité de la robotique a été de « libérer les robots de leur cage ». Cette libération « technique » a conduit à mettre en œuvre un principe fort de collaboration, dans un espace de travail commun entre, *a minima*, un robot et un opérateur. Cette coactivité est baptisée « robotique collaborative » ou « cobotique » (néologisme formé à partir des mots « coopération » et « robotique »). En ce sens, un cobot n'a pas pour vocation d'être indépendant, répétant une tâche, seul dans son coin, mais est fait pour collaborer avec un opérateur, être son assistant, non un substitut, en symbiose avec le

rythme de ce dernier. Le pari n'est pas de miser sur le remplacement de l'homme par les robots, mais de tirer profit, pour des tâches difficiles et/ou à forte valeur ajoutée, d'une combinaison du savoir-faire et des prises de décision de l'humain avec les capacités du robot (exemples : précision, vitesse, répétabilité). Ces cobots sont à ce jour assez légers, faciles à programmer et à intégrer, ce qui rend leur application aisée, non seulement pour des grands groupes, mais aussi des PME. Les interactions sont généralement classifiées en typologie parallèle (faciliter la tâche de l'humain), sérielle (travailler ensemble) et orthétique (assister

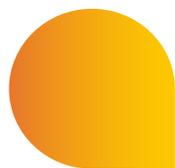
physiquement l'humain – interaction cognitive) et se déclinent sur des situations de travail avec des degrés d'interactions différents.

Dans toutes ces situations, la notion de sécurité est omniprésente, puisque la disparition des cages de protection place l'humain face à de nombreux risques : ceux-ci sont identifiables à la fois au regard de risques conventionnels du domaine de la robotique (comme les

« Un cobot n'a pas pour vocation d'être indépendant, répétant une tâche (...), mais est fait pour collaborer avec un opérateur, être son assistant, (...) en symbiose avec le rythme de ce dernier. »

risques liés aux procédés, aux mouvements...), mais aussi au regard des risques plus émergents liés à cette situation nouvelle d'interaction homme – robot (une peur du contact avec le cobot, du « technostress », des TMS induits par les postures imposées de coopération, la surcharge cognitive de l'humain...). En ce sens, bien que des référentiels normatifs et réglementaires existent, il faut dépasser une vision du risque généralement assez « silotée », pour la projeter dans une vision système, plus complexe, où se doivent de cohabiter de multiples disciplines (robotique, ergonomie, sécurité, biomécanique, physiologie, psychologie, organisation...), représentatives non seulement de l'objet cobot, mais aussi de l'acteur humain et des interactions issues de leur collaboration. C'est un enjeu essentiel dans l'analyse et l'évaluation des risques professionnels en cobotique et, par voie de conséquence, de leur prévention. À cet égard, le dossier présenté dans ce numéro fournit, à travers quatre contributions, les éléments primordiaux pour réussir l'intégration sûre d'un cobot au sein d'une entreprise.

SOMMAIRE



Savoirs & actualités

Décryptage

Risques photobiologiques liés aux équipements de désinfection UV-C et mesures de prévention
P.05

Actualité juridique

- Renforcement du document unique d'évaluation des risques
P. 12
- Refus d'un salarié de conduire un engin dangereux et licenciement abusif
P. 16

Dossier

Hommes – robots : collaborer en sécurité

- Robotique collaborative : les enjeux en prévention des risques professionnels
P. 20
- Analyse du besoin : « Pourquoi un cobot ? »
P. 26
- Robots collaboratifs : de l'identification des risques aux solutions techniques et organisationnelles
P. 30
- Collaboration homme – robot sur une chaîne de production : étude de cas dans le secteur de l'agroalimentaire
P. 37



Hommes – robots :
collaborer
en sécurité.

Lire le Dossier p. 18.



Études & solutions

Notes techniques

- Humidité de l'air exhalé : quel impact sur la respirabilité et l'efficacité des masques ?
P. 45

- Ouvrages de l'eau potable et de l'assainissement : prévention du risque chimique dans les espaces confinés
P. 56

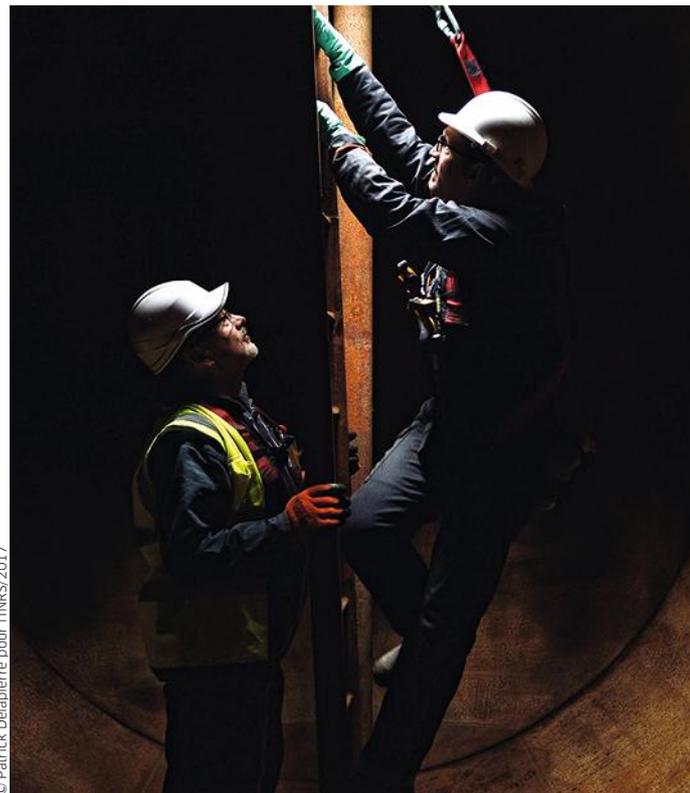
Étude de cas

- Violences externes en services d'urgences hospitalières : éclairage théorique et pratique pour la prévention
P. 64

Bases de données

- Portrait de l'exposition aux substances chimiques visées par les mises à jour des valeurs limites d'exposition professionnelle réglementaires en 2021
P. 72

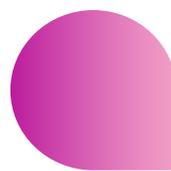
À ce jour, la base de données Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 agents chimiques et représente un outil d'aide pour l'identification des axes prioritaires de prévention du risque chimique.



© Patrick Delapierre pour l'INRS/2017

Prévention du risque chimique dans les espaces confinés (eau et assainissement).

Lire la Note technique p. 56.



Agenda & services

Congrès

Agenda / Congrès
P. 79

Formation

Les formations 2023 à la santé et sécurité au travail
P. 82

Agenda / Formations
P. 84

Sélection bibliographique

À lire, à voir
P. 86



Savoirs & actualités

Décryptage

Risques photobiologiques liés aux équipements
de désinfection UV-C et mesures de prévention

P. 05

Actualité juridique

Renforcement du document unique
d'évaluation des risques

P. 12

Refus d'un salarié de conduire
un engin dangereux et licenciement abusif

P. 16

Dossier

Hommes – robots : collaborer en sécurité

P. 18

Décryptage

RISQUES PHOTOBIOLOGIQUES LIÉS AUX ÉQUIPEMENTS DE DÉSINFECTION UV-C ET MESURES DE PRÉVENTION

Pour lutter contre la propagation de la Covid-19, le recours à des dispositifs de désinfection basés sur l'émission de rayonnements ultraviolets s'est largement répandu. Ces dispositifs s'appuient sur l'utilisation de lampes dites « germicides » émettrices d'UV-C, d'apparence faciles à utiliser. Néanmoins, les risques optiques et cutanés sont réels et certains dispositifs ne permettent pas d'exclure la présence des salariés dans les zones en cours de désinfection ou visent directement la désinfection de la peau. Différents textes réglementaires encadrent cette pratique, les surexpositions aux UV-C peuvent présenter des conséquences sanitaires graves. Cet article fait le point sur l'évaluation des risques photobiologiques (optiques et cutanés) associés à ces applications et aborde les questions de réglementation et de prévention.

PHOTOBIOLOGICAL RISKS LINKED TO UV-C DISINFECTION EQUIPMENT AND PREVENTIVE MEASURES – *To stem the propagation of Covid-19, the use of disinfection systems based on ultraviolet radiation has risen considerably. These systems rely on the use of "germicidal" lamps that emit UV-C light, and are apparently easy to use. Nevertheless, they represent real risks for the eyes and skin, and with some systems workers cannot be excluded from work areas during their disinfection, while others are designed to disinfect the skin directly. Overexposure to UV-C can have serious health consequences, and various regulatory texts present guidelines use of this type of radiation for disinfection purposes. This article reviews the risk assessment for photobiological (optical and skin) risks associated with these applications, and addresses the questions of their regulation and prevention.*

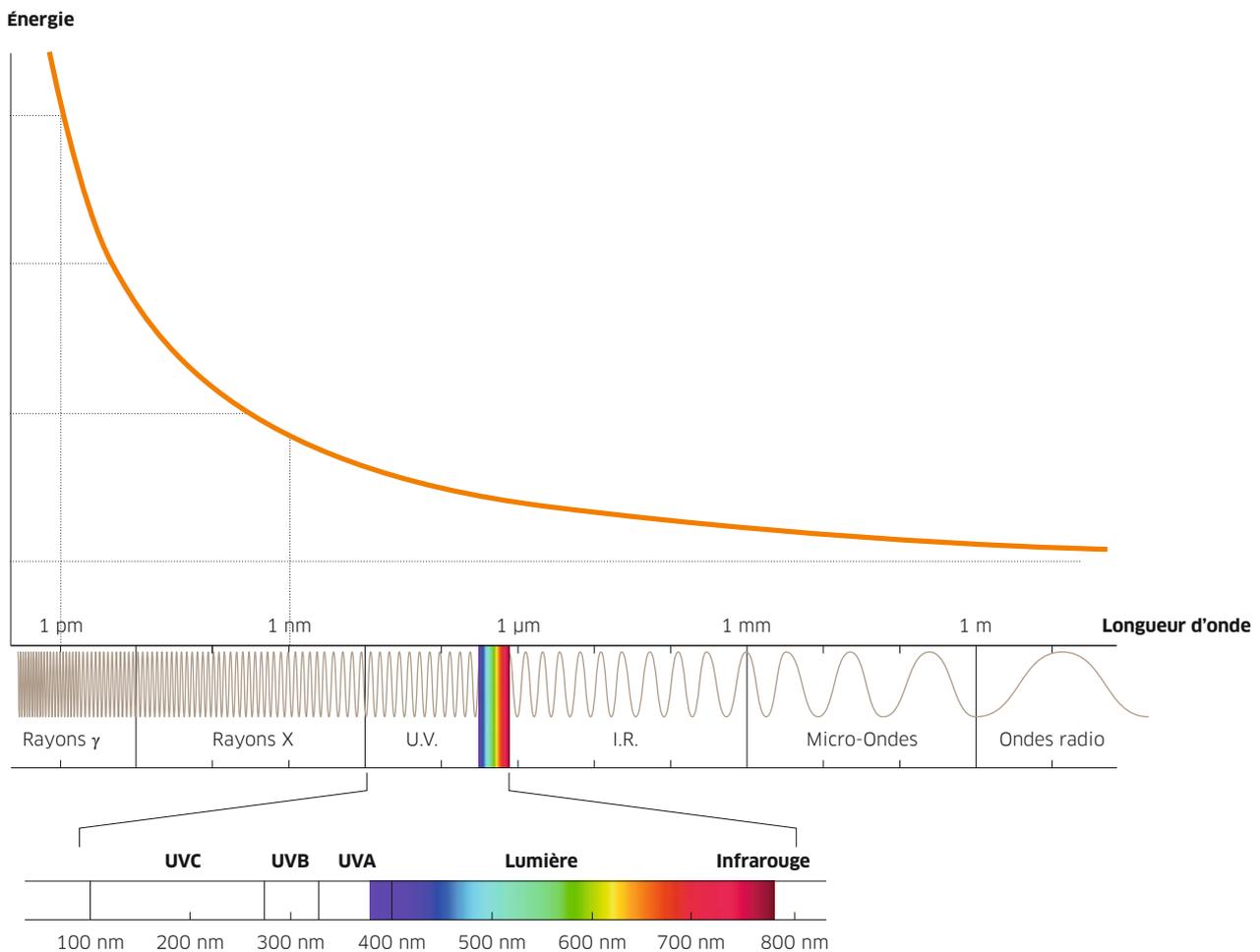
DAMIEN
BRISSINGER,
JEAN-MARC
DENIEL
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

Contexte

En réaction à la pandémie de Covid-19, les solutions de désinfection basées sur l'utilisation des rayonnements ultraviolets, plus particulièrement les UV-C, ont bénéficié d'un regain d'intérêt dans de nombreux secteurs d'activité. Les rayonnements UV-C sont utilisés depuis plusieurs décennies dans divers processus, tels que la désinfection de matériel, le nettoyage des graisses par photocatalyse, l'assainissement de l'eau ou de l'air, etc. Les solutions proposées s'appuient sur l'utilisation de lampes dites « germicides » disponibles sur le marché. Aussi simples à utiliser que des lampes d'éclairage classiques, ces lampes, émettant des

UV-C, sont promues par leurs fabricants ou vendeurs comme permettant de réduire l'usage de certains produits chimiques. Cette solution est ainsi bien ancrée dans divers milieux professionnels (hospitalier, agroalimentaire...) pour stériliser des instruments chirurgicaux ou les contenants alimentaires, par exemple. L'offre s'est récemment diversifiée, avec l'apparition de solutions aux finalités très diverses : désinfection de locaux ou d'habitacles de véhicule, d'objets d'usage courant (masques, téléphones, clés...), des mains, etc. Qu'il s'agisse de désinfection ou d'autres domaines d'application, l'utilisation des ultraviolets n'est pas une technique émergente. Les risques associés





↑ FIGURE 1 Représentation du spectre électromagnétique et de l'énergie portée par un photon en fonction de sa longueur d'onde.

sont bien connus. L'étude des effets à court et long terme des ultraviolets sur l'humain a montré l'existence de risques pour l'œil et la peau. Les lésions provoquées par des surexpositions aiguës sont caractérisées par l'apparition d'érythèmes sur la peau (« coup de soleil ») ou de photo-kératoconjunctivites à l'œil (le fameux « coup d'arc », bien connu des soudeurs). L'exposition chronique aux UV accroît également le risque de cancers cutanés.

Afin de protéger les salariés, le Code du travail prend en compte l'ensemble des risques liés à l'exposition aux UV. Il impose des valeurs limites d'exposition (VLE) concernant l'exposition de l'œil et de la peau. De plus, le marquage CE, obligatoire pour la commercialisation en Europe des appareils émetteurs de rayonnements optiques, s'appuie sur l'évaluation et le classement des sources par groupe de risque, selon la norme NF EN 62471 [1]. L'affichage obligatoire des groupes de risque les plus élevés est un outil de prévention important, puisqu'il informe les utilisateurs quant aux mesures de prévention nécessaires.

Les rayonnements ultraviolets et les UV-C

Les rayonnements optiques sont composés de photons caractérisés par leur longueur d'onde, notée λ (unités les plus communément utilisées : nm, μm). L'énergie des photons est inversement proportionnelle à leur longueur d'onde (Cf. Figure 1)¹. L'énergie ou la longueur d'onde détermine la nature des interactions entre la lumière (les photons) et la matière. Ainsi, comparer l'énergie des photons à l'énergie de liaison des électrons ou des atomes permet de prévoir les réactions induites par absorption. Les rayonnements infrarouges (IR, $\lambda > 780 \text{ nm}$) et visibles ($380 \text{ nm} \leq \lambda \leq 780 \text{ nm}$) présentent des longueurs d'onde plus longues et donc, leurs photons ont une énergie moindre que celle des photons UV. Les photons IR ne transportent pas assez d'énergie pour altérer chimiquement la matière. Leur absorption provoque un échauffement, comme on peut le ressentir sous des lampes IR (chauffage de terrasse, couveuse d'élevage). L'énergie des photons visibles est supérieure à celle des photons IR. Elle provoque des échauffements de la matière et des réactions chimiques dans les

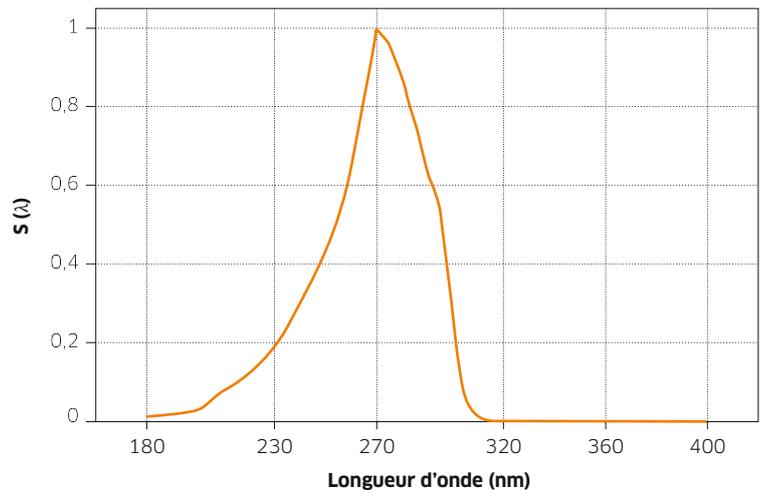
cellules spécialisées de la rétine, ce qui rend ces photons perceptibles à l'œil humain. Les rayonnements ionisants (rayonnements X et Gamma) ont des longueurs d'onde inférieures à 100 nm : leur énergie peut ioniser la matière, c'est-à-dire arracher les électrons aux atomes. Entre la lumière visible et les rayonnements ionisants, la lumière ultraviolette désigne les rayonnements de longueurs d'onde entre 100 et 400 nm. Cette position particulière explique en partie la spécificité des UV, dont l'énergie permet de modifier les liaisons chimiques de certaines molécules. On parle de « photo-activation » ou de « photo-catalyse ». Ces réactions sont impliquées dans divers processus : nettoyage des graisses dans les hottes de cuisine, vitrages autonettoyants, etc. Les UV-A et B ont respectivement des longueurs d'onde comprises entre 315 et 400 nm, et entre 280 et 315 nm. L'homme, les animaux et les plantes sont quotidiennement exposés à ces rayonnements émis par le soleil. Le corps humain bénéficie des modifications chimiques provoquées par l'absorption de photons UV-B pour synthétiser la vitamine D. À des doses raisonnables, l'exposition au rayonnement UV-B solaire peut être bénéfique. Les UV-C ont les longueurs d'onde les plus courtes, de 100 à 280 nm : ce sont les photons non ionisants les plus énergétiques. L'atmosphère terrestre les filtre entièrement : les organismes vivants ne sont exposés à ces rayonnements qu'au contact de sources artificielles (lampes). Ils ont la propriété de léser les molécules d'ADN (ou d'ARN), entraînant ainsi des effets mutagènes et cancérogènes. Les UV-C sont ainsi utilisés, de par leur action destructrice, sur un grand nombre de molécules (notamment celles qui constituent les parois cellulaires et les acides nucléiques ADN, ARN) pour les applications de désinfection. Mais la recherche d'efficacité dans le domaine de la désinfection par UV-C est indissociable d'un risque pour l'homme, qu'il est nécessaire d'évaluer.

Évaluation du niveau d'exposition et valeur limite réglementaire

L'évaluation de la dose reçue lors d'une exposition aux rayonnements UV dépend de quatre paramètres : la longueur d'onde, l'éclairement énergétique, la durée de l'exposition et l'orientation de la surface éclairée par rapport à la source. En fonction de la longueur d'onde, la sensibilité aux rayonnements UV de la peau et de l'œil varie selon :

- le taux d'absorption par les tissus ;
- la profondeur de pénétration.

Afin de prendre en compte ces caractéristiques, la réglementation considère la courbe $S(\lambda)$ entre $\lambda = 180$ et $\lambda = 400$ nm pour pondérer la sensibilité de l'œil et de la peau (Cf. Figure 2).



La courbe $S(\lambda)$ présente sur cette Figure 2 a été obtenue en laboratoire, *via* l'exposition contrôlée de parcelles de peau à différentes longueurs d'onde et la mesure de la dose énergétique de rayonnement provoquant l'apparition d'un érythème. Cette dose est égale au produit de l'éclairement énergétique par le temps d'irradiation nécessaire pour provoquer l'apparition de l'érythème. La valeur mesurée varie en fonction de l'absorption dans les tissus et de la profondeur de pénétration dans ces mêmes tissus. C'est à 270 nm que la peau se révèle la plus sensible aux rayonnements UV. C'est pour cela que l'on mesure la dose minimale qui provoque l'apparition des effets délétères à cette longueur d'onde. Par convention, à son maximum, $S(\lambda = 270 \text{ nm})$ est égal à 1. La courbe $S(\lambda)$ est ensuite calculée par le ratio de la dose énergétique de référence à 270 nm, par rapport aux doses mesurées aux autres longueurs d'onde. De cette manière, pour chaque longueur d'onde, les doses dites « efficaces » (égales au produit de la dose énergétique par la valeur $S(\lambda)$ correspondante) sont comparables (*i.e.* les effets sanitaires sont induits par une même valeur de dose efficace). En pratique, les lampes dites « germicides » constituées de tubes de quartz contenant des vapeurs de mercure émettent principalement à 254 nm plutôt qu'à 270 nm. À 254 nm, la valeur de la courbe $S(\lambda)$ est réduite de moitié : $S(\lambda = 254 \text{ nm})$ est égal à 0,5. Avant d'aboutir à la même dose efficace, *i.e.* au même effet, il est possible de doubler l'éclairement énergétique ou la durée d'exposition. Enfin, chacune des doses efficaces contribue de manière équivalente à l'effet global : la dose efficace résultant d'une exposition cumulée est égale à la somme des doses efficaces élémentaires. L'intensité de l'exposition est liée à l'éclairement énergétique $E(\lambda)$. Celui-ci varie en fonction de la distance entre la source et la surface exposée, son environnement (effets de masquage ou de réflexion). En outre pour un éclairement

↑ FIGURE 2
Courbe de pondération $S(\lambda)$ associée aux effets sanitaires des rayonnements UV sur l'œil et la peau. Les sensibilités de l'œil (cornée et conjonctive) et de la peau (épiderme et derme) sont considérées comme identiques pour une dose d'UV donnée.



TABEAU 1 → VLE réglementaire relative à l'exposition aux rayonnements optiques, couvrant les UV-C (Code du travail).

DOMAINE SPECTRAL (LONGUEURS D'ONDE)	EFFET DU RAYONNEMENT	GRANDEURS ÉNERGÉTIQUES CALCULÉES	VALEUR LIMITE D'EXPOSITION (VLE)
180-400 nm	Peau : érythème, élastose, cancer de la peau Œil (cornée/conjonctive) : photokératite, conjonctivite	Dose efficace $H_{eff} = t \times \sum_{\lambda=180}^{400} E(\lambda) \cdot S(\lambda) \cdot \Delta\lambda$	30 J/m ² admissibles quotidiennement

énergétique donné, l'intensité dépend de l'orientation de la surface éclairée. Dans ces conditions, il est nécessaire d'évaluer la dose reçue au niveau de la surface exposée (pour évaluer l'efficacité du procédé de désinfection) ou des zones anatomiques exposées (pour évaluer le niveau de risque). Ainsi, contrairement aux lampes d'éclairage qui sont évaluées dans une configuration normalisée, la norme NF EN 62471 [1] prévoit d'évaluer les risques photobiologiques liés à l'utilisation des dispositifs utilisés pour la désinfection dans les conditions réelles d'utilisation². La valeur d'éclairement énergétique $E(\lambda)$ obtenue est utilisée pour déterminer le groupe de risque (GR), numéroté de GR0 (sans danger) à GR3 (risque élevé). Obligatoire à la vente, le marquage CE impose, entre autres, d'évaluer le risque photobiologique des dispositifs émetteurs de rayonnements optiques et l'affichage du classement pour les groupes GR2 (risque modéré) et GR3 (risque élevé). Dans le cadre d'activités professionnelles, le Code du travail [2] exige l'analyse des risques dans

les conditions d'utilisation et la mise en place de mesures de prévention, si nécessaire : protection collective (capotage ou arrêt des lampes quand le personnel est à proximité), protection individuelle (protection oculaire, protection de la peau), information et formation du personnel amené à utiliser ces outils [3]. Concernant le rayonnement UV-C, il impose le respect d'une valeur limite d'exposition (VLE) (Cf. Tableau 1) définie dans la directive européenne « Rayonnements optiques artificiels » [4], elle-même construite à partir de la valeur proposée par l'ICNIRP³ sur la base de différentes études sanitaires [5].

Cette VLE englobe les risques liés à l'exposition de l'œil et de la peau aux rayonnements UV-C. Elle requiert l'évaluation (par le calcul ou la mesure) de la dose efficace reçue, aussi appelée exposition énergétique efficace (H_{eff}) [6]. Cette valeur se calcule en sommant, pour les longueurs d'onde entre 180 et 400 nm, le produit de l'éclairement énergétique efficace (E_{eff}) par la durée de l'exposition cumulée au cours de la journée de travail (t , exprimée en secondes). L'éclairement énergétique efficace (E_{eff}) est le résultat de la pondération de l'éclairement énergétique $E(\lambda)$ par la courbe $S(\lambda)$. Il permet de comparer les sources entre elles par le risque relatif qu'elles présentent. Il intègre à la fois la répartition en longueur d'onde de la source (les longueurs d'onde émises et la sensibilité de l'œil et de la peau) et la proportion des rayonnements effectivement reçus par l'œil ou la peau. L'exposition énergétique efficace (H_{eff}) ainsi calculée ne doit pas dépasser 30 joules « efficaces » par mètre carré (J/m²) pour une journée de travail de huit heures.

ENCADRÉ 1
EXEMPLE DE SITUATION D'EXPOSITION

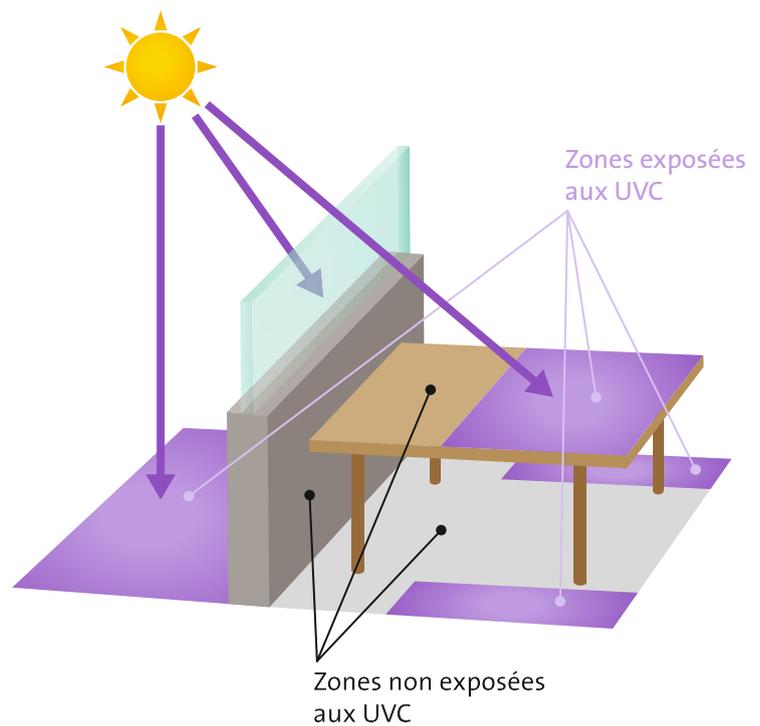
Dans le cadre d'une procédure de désinfection durant laquelle l'œil ou la peau du salarié seraient exposés à un éclairement énergétique de 15 W/m² à 254 nm, l'éclairement énergétique efficace serait égal à 7,5 W/m². Dans ces conditions, la durée d'exposition cumulée maximale autorisée au cours d'une journée est égale à 4 secondes, puisque la valeur de l'exposition énergétique efficace atteint alors la VLE de 30 J/m². Cette durée étant extrêmement courte, le risque de surexposition est permanent. Aussi est-il nécessaire d'éviter toute exposition. Ces appareils ne doivent pas être utilisés pour désinfecter l'œil ou la peau, et toutes les mesures de prévention nécessaires doivent être prises pour empêcher les expositions accidentelles.

Désinfection de pathogènes (comme le Sars-Cov-2) par UV-C et prévention

En désinfection, les niveaux d'émission mis en jeu dépendent de la sensibilité des organismes pathogènes visés et de l'efficacité recherchée. Dans le cas de la Covid-19, les premières études déjà réalisées [7] montrent que la dose nécessaire à l'élimination du SARS-CoV-2 est de l'ordre de grandeur de la VLE vis-à-vis de l'exposition énergétique efficace H_{eff} (les valeurs mesurées varient selon les études entre une dizaine et quelques dizaines de J/m²). Dans la

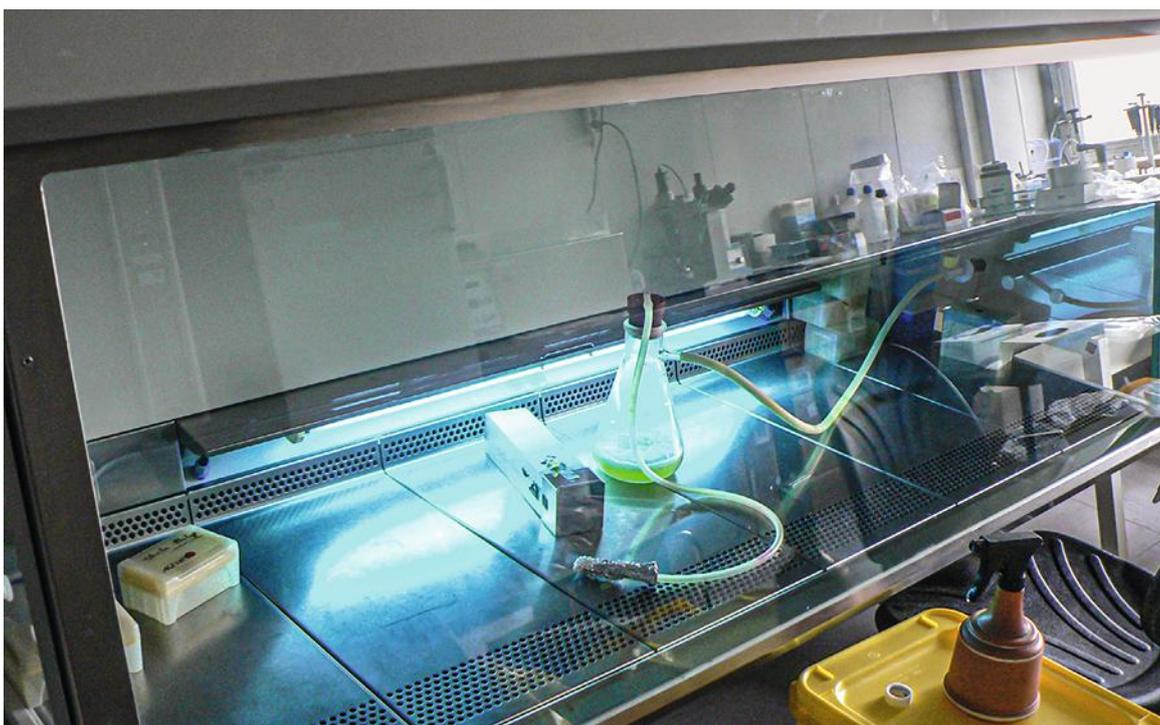
zone de désinfection, l'utilisation de systèmes efficaces induit donc nécessairement une exposition proche de la VLE dans le temps d'un unique cycle de désinfection, souvent quelques secondes. Cette estimation *a priori* est confirmée par les valeurs d'exposition énergétique mesurées par les fabricants pour leurs systèmes disponibles sur le marché. Dans les conditions normales d'utilisation, la VLE pour les yeux et la peau est atteinte pour des durées d'exposition de l'ordre de la seconde à la minute (Cf. Encadré 1). Avec des temps aussi courts, le risque de surexposition est permanent. Aussi est-il nécessaire d'exclure toute exposition humaine, qu'elle soit prévisible ou accidentelle, lors de la désinfection de pièces ou de matériel.

Cette recommandation est d'autant plus importante qu'aucune sensation ne permet de prendre conscience de l'exposition en cours, ou du risque encouru. La couleur bleue ou violette de certaines lampes UV-C résulte de l'observation par l'œil d'une émission secondaire dans le visible. Elle permet d'avoir une indication de l'état de marche de la lampe, mais elle ne renseigne pas sur l'intensité du rayonnement UV-C émis, qui suit le même chemin optique, mais qui est invisible et indolore. Aucune sensation n'est directement liée à l'intensité de l'exposition en cours. L'apparition des premiers symptômes ne se fait qu'avec un décalage de plusieurs heures. Il est donc important d'être extrêmement vigilant quant à l'utilisation de matériels de désinfection utilisant les UV, tout particulièrement lorsque des longueurs d'onde UV-C sont émises. L'effet germicide des UV-C est un atout pour lutter



contre la propagation des virus et autres agents biologiques pathogènes (pour peu que les procédés soient conformes à la norme NF T 72-281 [8]), mais les risques pour l'homme imposent d'exclure les applications de désinfection par les UV-C des mains ou de toute autre zone du corps humain, un constat conforme aux recommandations de l'OMS et de la Commission internationale de l'éclairage (CIE)⁴.

↑ **FIGURE 3**
Représentation des zones de masquage observées lors d'opération de désinfection par UV-C.



Banc à flux laminaire, équipé de rayons UV pour sa décontamination lorsqu'il n'est pas utilisé.



ENCADRÉ 2

RISQUES COMPLÉMENTAIRES LIÉS À L'UTILISATION DE LA DÉSINFECTION PAR UV-C

- Certains médicaments (antibiotiques, diurétiques...) et produits chimiques (hydrocarbures aromatiques polycycliques, pesticides...) peuvent accroître la sensibilité aux rayonnements optiques, favorisant ainsi l'apparition des effets sanitaires délétères.
- Les rayonnements UV peuvent également réagir avec certains produits de désinfection, comme les produits chlorés, pour former des produits secondaires susceptibles d'être nocifs pour la santé. De plus, aux longueurs d'onde inférieures à 240 nm, le rayonnement interagit avec l'oxygène de l'air. Il se forme alors de l'ozone, un gaz irritant, nocif pour les poumons.

De plus, l'emploi de cette technique pour la désinfection de matériels nécessite que toutes les surfaces soient exposées aux rayonnements [9]. Cela nécessite le nettoyage préalable des salissures et des poussières pour limiter la présence d'éléments faisant obstruction à l'exposition directe des surfaces. Enfin, il existe des effets de masquage : les rayonnements n'atteignent pas toutes les surfaces (Cf. Figure 3). C'est le cas sous un meuble, derrière une paroi ou une poignée de porte. Et, certains matériaux transparents dans le visible, tels que le verre ou le polycarbonate (largement déployés pour protéger les salariés des commerces du coronavirus Sars-CoV-2), ne sont pas transparents aux UV-C, ce qui empêche la désinfection derrière ces écrans. Ces préconisations sont généralement connues des acteurs du domaine de la désinfection aux UV-C. Cependant, dans l'urgence de la crise sanitaire, certaines des solutions proposées (dispositifs portatifs ou destinés à la désinfection de la peau) ne respectent pas ces principes de précaution. En effet, les solutions dont les niveaux d'émission permettent d'être efficace à des temps courts (inférieurs à 1000 s) s'appuient principalement sur l'émission de rayonnements UV-C par des sources lumineuses classées en groupe GR3, d'après la norme NF EN 62471 [1]. Elles ne doivent pas être utilisées sans protection si l'exposition énergétique efficace (H_{eff}) au cours

de la journée atteint la VLE, ce qui interdit de fait leur usage pour la désinfection de la peau.

Même lorsque la dose unitaire reçue pour un cycle de désinfection est inférieure à la VLE, la répétition au cours de la journée expose les salariés à des doses très supérieures à la VLE. Ce constat impose la mise en œuvre de mesures de protection.

Les recommandations diffèrent alors en fonction des applications visées. Lorsque c'est possible, il faut privilégier les mesures d'organisation du travail ou de prévention collective qui protègent l'ensemble du personnel. L'information des salariés et la matérialisation des zones en cours de désinfection sont importantes pour avertir de la nature des risques encourus. La méthode la plus efficace consiste à contenir les rayonnements UV dans un espace « étanche » aux rayonnements optiques (une armoire, une pièce inoccupée, ou *via* un captage avec coupure en cas d'ouverture...). S'agissant de sources classées dans les groupes de risque GR2 ou GR3, l'affichage du groupe de risque ainsi que des précautions d'usage est rendu obligatoire par la réglementation.

Lorsque les protections collectives ne sont pas envisageables, il est nécessaire de porter des équipements de protection individuelle (EPI) efficaces pour les yeux et la peau dans l'environnement des sources utilisées. Les lunettes seules ne protègent ni le visage, ni la peau des mains, qui restent exposés. Les EPI doivent être adaptés à l'ensemble des risques présents (UV, visibles ou autres) [10] et protéger d'éventuelles réflexions des UV lorsque la source se trouve dans le dos de l'opérateur par exemple. Les vêtements doivent être opaques aux UV (mailles serrées, niveau de transmission très faible). Pour le visage et les yeux en particulier, le polycarbonate, même transparent, assure à la fois une bonne visibilité pour la poursuite de l'activité et une protection efficace contre les UV. Les protections choisies doivent être certifiées selon la norme NF EN 170 [11].

Solutions émergentes

Certaines solutions sont proposées avec des longueurs d'onde ou des technologies décrites comme « nouvelles » (Led UV-C à 222 nm par exemple), avec parfois pour argument commercial d'être moins dangereuses, du fait d'une supposée faible profondeur de pénétration.

En premier lieu, que le rayonnement UV soit émis par le soleil, des lampes « classiques » ou par des Led, il est important de rappeler que la source d'émission ne modifie pas la dangerosité : seule la longueur d'onde et l'éclairement énergétique comptent. Un changement de technologie, par exemple remplacer une lampe à vapeur de mercure par une Led, ne permet pas de prétendre que le niveau de dangerosité diminue. Et bien qu'à 222 nm, la sensibilité

POUR EN SAVOIR +

• Décryptage : DAVID C. – La désinfection des lieux de travail : quelle stratégie ? *Hygiène & sécurité du travail*, 2021, 263, DC 30, pp. 7-13. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/hst/decryptage.html>

de l'œil et de la peau soit moindre qu'à 254 nm [$S(222 \text{ nm}) = 0,13$], le risque demeure. Par exemple, pour un éclairage énergétique de 15 W/m², la VLE est atteinte en 15 secondes.

De plus, on définit la profondeur de pénétration comme l'épaisseur de matière pour laquelle l'intensité du rayonnement a été diminuée d'un facteur choisi arbitrairement selon les études. Elle varie principalement en fonction de l'absorption des matériaux. Au-delà de cette épaisseur, l'intégralité du rayonnement n'est pas absorbée, elle est seulement réduite. Les tissus en surface seront les plus sévèrement exposés. Plus en profondeur, ils subiront une exposition moindre mais pas forcément négligeable. Avant de conclure sur ce point, rappelons que la courbe $S(\lambda)$ et les VLE définies sur la base de travaux expérimentaux intègrent l'ensemble de ces paramètres.

En conséquence, tous les dispositifs doivent être évalués selon les obligations réglementaires en cours [1, 2, 4, 8], avant d'être mis à disposition des entreprises pour éviter toute altération de la santé des salariés potentiellement exposés.

Conclusion

La désinfection par rayonnements UV est une technique mature, communément utilisée dans divers domaines professionnels. Son utilisation s'est développée récemment en raison notamment de son potentiel dans le cadre de la lutte sanitaire contre la pandémie de Covid-19. Il convient alors de choisir un procédé répondant aux essais de la norme NF T 72-281 [8] pour s'assurer de son efficacité désinfectante. Certaines des applications proposées, dont les fournisseurs revendiquent la possibilité d'être automatisées ou de remplacer l'usage de produits chimiques, sont des outils de désinfection efficaces lorsque les surfaces sont suffisamment et correctement exposées à ces rayonnements. Cependant, les UV-C présentent des risques pour l'homme qui doivent être pris en compte pour une utilisation en sécurité. En particulier, les niveaux d'émission utilisés pour la désinfection des agents biologiques pathogènes (comme c'est le cas pour le SARS-CoV-2) amènent à dépasser la VLE en quelques secondes seulement. Cela interdit *de facto* l'utilisation de ces techniques pour la désinfection de la peau et des yeux. Pour évaluer précisément les risques, les utilisateurs de ces technologies doivent s'appuyer notamment sur les éléments réglementaires disponibles. En premier lieu, le niveau d'exposition journalier dans les conditions réelles d'utilisation doit être le plus faible possible et toujours rester inférieur à la VLE imposée par le Code du travail. La commercialisation et la mise à disposition de ces équipements doivent se faire conformément à la norme NF EN 62471. Celle-ci prévoit le classement en groupe de risque

dont l'affichage est obligatoire pour les niveaux de risque les plus élevés. Les UV-C étant invisibles et indolores, cet affichage est un outil de prévention important permettant d'avertir les utilisateurs des risques encourus et des mesures de prévention nécessaires. Il doit également être accompagné de l'information et de la formation des personnels amenés à utiliser ces dispositifs, ainsi que de la fourniture des équipements de protection adéquats pour les yeux et la peau. ●

1. Rappel : $E = h \times (c/\lambda)$, avec h = constante de Planck ; et c = vitesse (célérité) de la lumière.

2. La norme NF EN 62471 [1] classe les appareils émettant des rayonnements UV selon leur dangerosité, en conditions réelles d'utilisation. La norme NF T 72-281 [8] permet de tester l'effet désinfectant des dispositifs utilisant des UV.

3. International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection : Commission internationale de protection contre les rayonnements non ionisants.

4. Voir en particulier : OMS/WHO, infographie – Can an ultraviolet disinfection lamp kill the new coronavirus? CIE, Position Statement on the use of Ultraviolet (UV) radiation to manage the risk of COVID-19 transmission.

BIBLIOGRAPHIE

[1] **NORME NF EN 62471** – Sécurité photobiologique des lampes et des appareils utilisant des lampes. Afnor, 2008. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[2] **CODE DU TRAVAIL** – Articles R. 4455-1 et suivants (Décret n° 2010-750 du 2 juillet 2010 relatif à la protection des travailleurs contre les risques dus aux rayonnements optiques artificiels). *Journal officiel* du 4 juillet 2010. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr.

[3] **BARLIER-SALSI A.** – Exposition professionnelle aux rayonnements optiques artificiels : Guide d'évaluation des risques sans mesure. INRS, ED 6343, 2019. Accessible sur : www.inrs.fr.

[4] **DIRECTIVE N° 2006/25/CE** – Prescriptions minimales de sécurité et de santé relatives à l'exposition des travailleurs aux risques dus aux agents physiques (rayonnements optiques artificiels). *JO de l'Union européenne*, n° 114/38 du 27 avril 2006. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu/>.

[5] **ICNIRP** – Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths 180 nm to 400 nm (incoherent optical radiation). *Health Physics*, 2004, 87 (2), pp. 171-186. Accessible sur : <https://doi.org/10.1097/00004032-200408000-00006>.

[6] **BARLIER-SALSI A.** – Mesurer et évaluer l'exposition professionnelle aux rayonnements optiques artificiels (hors laser). *Guide méthodologique*. INRS, 2016, coll. Notes scientifiques et techniques, NS 347. Accessible sur : www.inrs.fr.

[7] **BIASIN M., ET AL.** – UV-C irradiation is highly effective in inactivating SARS-CoV-2 replication. *Sci Rep*, 2021, 11, 6260. Accessible sur : <https://doi.org/10.1038/s41598-021-85425-w>.

[8] **NORME NF T 72-281** – Procédés de désinfection des surfaces par voie aérienne – Détermination de l'activité bactéricide, fongicide, levuricide, mycobactéricide, tuberculocide sporicide et virucide, incluant les bactériophages. Afnor, 2014. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[9] **CRAMIF** – Désinfection par rayonnement UV. Fiche risques professionnels (mise à jour du 13/10/2020). Accessible sur : <https://www.cramif.fr/>.

[10] **INRS** – Les équipements de protection individuelle des yeux et du visage. *Choix et utilisation*. INRS, 2009, ED 798. Accessible sur : www.inrs.fr.

[11] **NORME NF EN 170** – Protection individuelle de l'œil. *Filtres pour l'ultraviolet. Exigences relatives au facteur de transmission et utilisation recommandée*. Afnor, 2003. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

Actualité juridique

RENFORCEMENT DU DOCUMENT UNIQUE D'ÉVALUATION DES RISQUES

Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

Décret n° 2022-395 du 18 mars 2022 relatif au document unique d'évaluation des risques professionnels et aux modalités de prise en charge des formations en matière de santé, de sécurité et de conditions de travail par les opérateurs de compétences (Journal officiel du 20 mars 2022).

PÔLE
INFORMATION
JURIDIQUE
INRS,
département
Études, veille
et assistance
documentaires

Pris en application de la loi n° 2021-1018 du 2 août 2021 pour renforcer la prévention en santé au travail, le décret du 18 mars 2022 apporte diverses précisions concernant le document unique d'évaluation des risques professionnels (DUER). Ce document, qui répertorie l'ensemble des risques professionnels auxquels sont exposés les travailleurs, retranscrit les résultats de l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs mise en œuvre par l'employeur. Il doit en outre « assurer la traçabilité collective de ces expositions », tel que le précise désormais l'article L. 4121-3-1 du Code du travail.

Ce décret, publié dans le cadre de la réforme de la prévention en matière de santé et sécurité au travail, est ainsi l'occasion de faire le point sur les dispositions applicables en matière d'évaluation des risques et sur les nouveautés entrées en vigueur le 31 mars 2022.

Évolution du contenu du document unique d'évaluation des risques

Première étape de la démarche de prévention, l'évaluation des risques professionnels consiste à identifier les risques auxquels sont soumis les salariés d'un établissement, en vue de mettre en place des actions de prévention pertinentes couvrant les dimensions techniques, humaines et organisationnelles. Elle relève de la responsabilité de l'employeur et s'inscrit dans le cadre de son obligation générale d'assurer la sécurité et de protéger la santé des salariés.

À ce titre, l'employeur doit transcrire et mettre à jour dans un document unique les résultats de l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs à laquelle il procède.

Cette évaluation comporte un inventaire des risques identifiés dans chaque unité de travail de l'entreprise ou de l'établissement, y compris ceux liés aux ambiances thermiques.

L'employeur doit par ailleurs consigner, en annexe du document unique :

- les données collectives utiles à l'évaluation des expositions individuelles aux facteurs dits de pénibilité, le cas échéant à partir de l'identification de postes, métiers ou situations de travail figurant dans un accord collectif étendu ou un référentiel professionnel de branche homologué ;
- la proportion de salariés exposés aux facteurs de pénibilité, au-delà des seuils prévus au même article. Cette proportion est actualisée en tant que de besoin lors de la mise à jour du document unique.

Un contenu différent en fonction de l'effectif de l'entreprise

Parmi les nouveautés entrées en vigueur le 31 mars 2022, une distinction est désormais opérée en fonction de l'effectif des entreprises :

- pour les entreprises dont l'effectif est supérieur ou égal à 50 salariés, les résultats de l'évaluation débouchent sur un programme annuel de prévention des risques professionnels et d'amélioration des conditions de travail (PAPRI Pact) mentionnant :
 - la liste détaillée des mesures devant être prises au cours de l'année à venir, les mesures de prévention des effets de l'exposition aux facteurs de risques professionnels ainsi que, pour chaque mesure, ses conditions d'exécution, des indicateurs de résultat et l'estimation de son coût ;

- les ressources de l'entreprise pouvant être mobilisées ;
- un calendrier de mise en œuvre ;
- pour les entreprises dont l'effectif est inférieur à 50 salariés, les résultats de l'évaluation devront déboucher sur la définition d'actions de prévention des risques et de protection des salariés.

Évaluation de la polyexposition aux agents chimiques

Pris en application de la loi du 2 août 2021 qui a introduit la notion de polyexposition aux produits chimiques, le décret du 18 mars 2022 ajoute à la liste (non exhaustive) des points que l'employeur doit prendre en compte dans le DUER, les effets combinés de l'ensemble des agents chimiques en cas d'exposition simultanée ou successive à plusieurs d'entre eux (art. R. 4412-6).

Mises à jour du DUER

Conformément aux dispositions de l'article R. 4121-2, dans sa version applicable depuis le 31 mars 2022, la mise à jour du DUER doit être réalisée dans trois hypothèses :

- au moins chaque année dans les entreprises de onze salariés minimum.

Avant l'entrée en vigueur de ces nouvelles dispositions, toutes les entreprises, quel que soit leur effectif, devaient mettre à jour le DUER, *a minima* une fois par an. Depuis le 31 mars 2022, cette obligation est supprimée pour les plus petites entreprises. La mise à jour annuelle ne devient obligatoire que « dans les entreprises d'au moins onze salariés » (article R. 4121-2 du Code du travail).

Depuis la loi n°2012-387 du 22 mars 2012 relative à la simplification du droit et à l'allégement des démarches administratives, le Code du travail précisait toutefois, dans son article L. 4121-3, que lorsque le document unique doit « faire l'objet d'une mise à jour, celle-ci peut être moins fréquente dans les entreprises de moins de onze salariés, sous réserve que soit garanti un niveau équivalent de protection de la santé et de la sécurité des travailleurs ».

Les TPE de moins de onze salariés sont donc désormais exonérées de la mise à jour annuelle du DUER.

Les deux autres hypothèses dans lesquelles le DUER doit être mis à jour sont les suivantes :

- lors de toute décision d'aménagement important modifiant les conditions de santé et de sécurité ou les conditions de travail ;
- lorsqu'une information supplémentaire intéressant l'évaluation d'un risque est portée à la connaissance de l'employeur.

La rédaction de ce dernier élément, mentionné dans le dernier alinéa de l'article R. 4121-2 du

ENCADRÉ

QUELQUES PRÉCISIONS SUR LA NOTION D'UNITÉ DE TRAVAIL

Tel que le précise la circulaire n°6 DRT du 18 avril 2002¹, la notion d'unité de travail doit être comprise au sens large afin de recouvrir les situations très diverses d'organisation du travail. Ce n'est pas nécessairement un poste de travail, une fonction, une activité, un processus mais bien une situation de travail dans laquelle un ou des salariés (avec une ou des fonctions différentes et en charge d'activités différentes), est (sont) exposé(s) à un même danger.

La notion d'unité de travail trouve un intérêt si elle décrit des ensembles homogènes de situations d'expositions à des dangers. Sur la base d'une cartographie des conditions similaires d'exposition, les unités de travail peuvent être ainsi définies et structurées. Elles constituent le cadre de l'analyse des risques.

À titre d'exemple, certains dangers ou nuisances (bruit, vapeurs...) dépassent le périmètre du « poste de travail » et peuvent concerner d'autres salariés proches de celui-ci. Dans ce cas, l'unité de travail pourrait être la totalité de l'atelier de production considéré.

Code du travail, a été modifié. Il était auparavant écrit que la mise à jour du DUER devait être réalisée « lorsqu'une information supplémentaire intéressant l'évaluation d'un risque dans une unité de travail est recueillie ». La nouvelle formulation souligne le fait que, si l'employeur a connaissance de quelque information que ce soit, qui puisse avoir un impact sur l'évaluation d'un risque ou qui en crée un nouveau, le DUER doit alors être mis à jour.

Chaque mise à jour doit alors déboucher sur des actions de prévention, si cela s'avère nécessaire. Enfin, il convient de noter que la mise à jour du PAPRIACT ou de la liste des actions de prévention et de protection mentionnées au III de l'article L. 4121-3-1 doit être effectuée à chaque mise à jour du DUER, si nécessaire.

Archivage et conservation du DUER

La nouveauté, également introduite dans le cadre de la réforme de la prévention en santé au travail, est l'obligation pour l'employeur de conserver le DUER pour une durée minimale qui ne peut être inférieure à 40 ans, dans ses versions successives et de le tenir à la disposition des travailleurs, des anciens travailleurs, ainsi que de toute personne ou instance pouvant justifier d'un intérêt à y avoir accès durant toute cette période.

À cette fin, le DUER et ses mises à jour doivent faire l'objet d'un dépôt dématérialisé sur un portail numérique déployé et administré par un orga-



nisme géré par les organisations professionnelles d'employeurs représentatives aux niveaux national et interprofessionnel. Cette obligation de dépôt dématérialisé du DUER sera applicable à compter :

- du 1^{er} juillet 2023, aux entreprises dont l'effectif est supérieur ou égal à 150 salariés ;
- de dates fixées par décret, en fonction des effectifs des entreprises, et au plus tard à compter du 1^{er} juillet 2024 aux entreprises dont l'effectif est inférieur à 150 salariés.

Jusqu'à l'entrée en vigueur de l'obligation de dépôt du DUER sur un portail numérique, l'employeur doit conserver ses versions successives au sein de l'entreprise, sous la forme d'un document papier ou dématérialisé, selon sa propre organisation.

Une participation collective à l'évaluation des risques

L'élaboration du DUER résulte d'une approche collective de la prévention des risques professionnels, dans le cadre du dialogue social, même si le choix des mesures de prévention, du plan d'actions et de la démarche dans sa globalité relève, au final, de l'initiative et de la responsabilité de l'employeur.

Les textes renforcent la collégialité de l'élaboration du document unique à plusieurs niveaux.

- Le Comité social et économique (CSE) et, le cas échéant, la Commission de santé, sécurité et des conditions de travail (CSSCT) peuvent apporter leur contribution à l'évaluation des risques professionnels dans l'entreprise.

Dans le cadre du dialogue social dans l'entreprise, le CSE doit désormais être consulté sur le DUER et ses mises à jour.

La liste des actions de prévention et de protection prévues soit dans le PAPRIACT (pour les entreprises de plus de 50 salariés) ou dans le plan d'actions (pour les PME) doit par ailleurs être présentée au CSE².

En outre, dans les établissements dotés d'un CSE, le DUER est toujours utilisé pour l'établissement du rapport annuel du CSE « *faisant le bilan de la situation générale de la santé, de la sécurité et des conditions de travail dans l'entreprise et des actions menées au cours de l'année écoulée dans ces domaines* »³.

- Le service de prévention et de santé au travail (SPST) peut également participer à l'évaluation et la prévention des risques professionnels dans l'entreprise. Le DUER doit d'ailleurs lui être transmis par l'employeur à chaque mise à jour⁴. Alors que le DUER était accessible au « *médecin du travail et aux professionnels de santé mentionnés à l'article L. 4624-1* », il doit maintenant être tenu à la disposition du SPST dans son ensemble. Cette équipe peut comprendre : des médecins du travail, des collaborateurs médecins, des

internes en médecine du travail, des infirmiers, mais aussi des intervenants en prévention des risques professionnels (IPRP) et des assistants de services de santé au travail.

- Le salarié compétent désigné par l'employeur pour s'occuper des activités de protection et de prévention des risques professionnels de l'entreprise au titre de l'article L. 4644-1 du Code du travail peut également contribuer à l'évaluation des risques professionnels.
- Enfin, les branches professionnelles peuvent accompagner les entreprises dans l'élaboration et la mise à jour du DUER, au moyen de méthodes et référentiels adaptés aux risques considérés et d'outils d'aide à la rédaction.

Mise à disposition du DUER

Le DUER et ses versions antérieures sont tenus à la disposition, pendant une durée de 40 ans à compter de leur élaboration :

- des travailleurs et des anciens travailleurs pour les versions en vigueur durant leur période d'activité dans l'entreprise. La communication des versions du DUER antérieures à celle en vigueur à la date de la demande peut être limitée aux seuls éléments afférents à l'activité du demandeur. Les travailleurs et anciens travailleurs peuvent communiquer les éléments mis à leur disposition aux professionnels de santé en charge de leur suivi médical ;
- des membres de la délégation du personnel du CSE ;
- du service de prévention et de santé au travail ;
- des agents du système d'inspection du travail ;
- des agents des services de prévention des organismes de sécurité sociale ;
- des agents des organismes professionnels de santé, de sécurité et des conditions de travail mentionnés à l'article L. 4643-1 ;
- des inspecteurs de la radioprotection en ce qui concerne les résultats des évaluations liées à l'exposition des travailleurs aux rayonnements ionisants, pour les installations et activités dont ils ont respectivement la charge.

Un avis indiquant les modalités d'accès des travailleurs au DUER doit par ailleurs être affiché à une place convenable et aisément accessible dans les lieux de travail. Dans les entreprises ou établissements dotés d'un règlement intérieur, cet avis est affiché au même emplacement que celui réservé au règlement intérieur. ●

1. Circulaire DRT n°6 du 18 avril 2002 prise pour l'application du décret n°2001-1016 portant création d'un document relatif à l'évaluation des risques pour la santé et la sécurité des travailleurs.

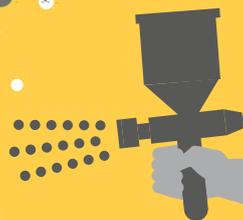
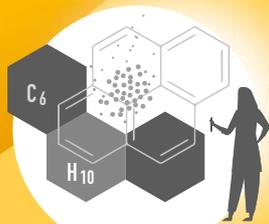
2. Articles L. 2312-5 et L. 2312-27 du Code du travail.

3. Articles R. 4121-3 et L. 2312-27 du Code du travail.

4. Article L. 4121-3-1 du Code du travail.

AÉROSOLS SEMI-VOLATILS

MESURER, CONNAITRE ET RÉDUIRE LES EXPOSITIONS



8 DÉCEMBRE 2022

Maison de la RATP

Espace du Centenaire – 189 rue de Bercy – 75012 Paris

**JOURNÉE
TECHNIQUE**

De nombreux salariés sont exposés à des composés présents dans l'air à la fois sous forme de vapeur et de particules.

Le peu de données toxicologiques, les difficultés de la mesure et le manque de solutions de prévention rendent complexe la prise en compte de ces aérosols semi-volatils pour l'évaluation du risque chimique par les entreprises.

L'INRS organise une journée technique qui s'adresse aux chargés de prévention, personnels des services de prévention et de santé au travail (IPRP, HSE), chefs d'entreprise, médecins du travail, spécialistes de la mesure des expositions professionnelles.

Des experts et des professionnels impliqués dans la prévention des risques liés à ces aérosols présenteront des solutions récentes de mesure et d'identification de ces aérosols. Seront également abordées les solutions de réduction des émissions permettant d'améliorer la qualité de l'air des lieux de travail.

**PARTICIPATION
SUR PLACE
ET EN DIRECT
SUR INTERNET**

INSCRIPTION : **aerosols-semivolatils2022.inrs.fr**

Contact : aerosols-semivolatils2022@inrs.fr

INSCRIPTION
OBLIGATOIRE

Actualité juridique

REFUS D'UN SALARIÉ DE CONDUIRE UN ENGIN DANGEREUX ET LICENCIEMENT ABUSIF

Cour de cassation, (chambre sociale), 16 février 2022, n° 20-15.435

Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr

PÔLE
INFORMATION
JURIDIQUE
INRS,
département
Études, veille
et assistance
documentaires

Un salarié, conducteur d'engin, a refusé à plusieurs reprises de conduire un tracteur à chenilles sur un chantier, au motif que ce dernier ne répondait pas aux normes de sécurité. Il estimait que l'engin que l'employeur voulait le contraindre à conduire n'était, en effet, pas conforme aux dispositions légales imposant la présence de dispositifs anti-retournement et anti-écrasement.

Il avait fait valoir parallèlement qu'il n'avait jamais utilisé un tel tracteur auparavant et que, par conséquent, il n'était pas suffisamment formé.

Son employeur l'a licencié pour faute grave. Le salarié a alors saisi le conseil de prud'hommes, afin de faire reconnaître l'absence de cause réelle et sérieuse à son licenciement.

Les juges du fond l'ont débouté de sa demande et jugé qu'une faute grave du salarié était bien caractérisée. La Cour d'appel a relevé en particulier qu'il avait pour habitude de dénigrer systématiquement, sur les chantiers, l'entreprise et son matériel, et qu'il avait eu à plusieurs reprises une attitude extrêmement négative à l'égard de la société.

De plus, elle a constaté que la conduite du tracteur relevait bien de sa qualification, dès l'instant où le salarié était titulaire du permis de conduire adéquat et de l'autorisation de conduite requise.

Concernant le caractère dangereux du tracteur, la Cour d'appel a jugé que l'engin incriminé ne rentrait pas dans les obligations de protection en cas de renversement édictées par le décret du 30 septembre 2005 relatif aux règles, prescriptions et procédures applicables aux tracteurs agricoles et forestiers dans la mesure où ce texte ne concerne que la mise sur le marché de matériels à l'état neuf. De ces éléments, les juges du fond ont déduit que le comportement négatif et l'attitude d'insubordination du salarié étaient caractérisés, ce qui constituait une faute grave rendant impossible le maintien de l'intéressé dans l'entreprise et justifiant son départ immédiat.

Le salarié a alors formé un pourvoi en cassation.

Il reprochait à la Cour d'appel de ne pas avoir répondu à ses conclusions, qui établissaient qu'il était fondé à refuser d'exécuter la tâche qui lui avait été demandée. En effet, il avait apporté des éléments qui démontraient que l'engin que l'employeur voulait le contraindre à conduire n'était pas conforme aux dispositions légales imposant la présence de dispositifs anti-retournement et anti-écrasement. L'employeur avait d'ailleurs reconnu expressément, dans la lettre de licenciement, que le tracteur, qui comportait un risque de retournement, ne disposait pas d'arceau, ni de ceinture de sécurité.

Le salarié invoquait également le fait que la Cour d'appel avait statué par des motifs confus lorsqu'elle s'était bornée à affirmer, sans autre indication ni explication, que l'entreprise avait produit le décret du 30 septembre 2005 relatif aux règles, prescriptions et procédures applicables aux tracteurs agricoles et forestiers et à leurs dispositifs, et qu'il en ressortait que l'engin incriminé ne rentrait pas dans ses obligations. Or, ce décret ne vise que les conditions d'homologation et de certification des engins en vue de leur mise sur le marché. Les seules dispositions applicables étaient celles des articles R. 4324-30 et suivants du Code du travail qui exigent, peu importe l'ancienneté de l'engin, que les équipements mobiles avec travailleurs portés soient choisis compte tenu des travaux à accomplir et des conditions effectives d'utilisation, de manière à prévenir les risques de retournement ou de renversement de l'équipement. La Cour de cassation accueille cette argumentation et casse l'arrêt de la Cour d'appel. Elle relève que le salarié avait bien fait valoir que le tracteur à chenilles qu'il avait refusé de conduire et qui présentait un risque de retournement ne comportait aucun dispositif de protection, et notamment d'arceau et de ceinture, en violation des obligations réglementaires en matière de sécurité prévues par les articles R. 4324-30 et suivants du Code du travail. Dès lors, son refus de conduire l'engin n'était pas fautif et ne pouvait faire l'objet d'une sanction de la part de l'employeur. ●

FABRICATION ET COMMERCIALISATION D'UN CAPTEUR D'OZONE EN TEMPS RÉEL POUR L'ÉVALUATION DES EXPOSITIONS PROFESSIONNELLES

Votre entreprise :

- assure la fabrication et la commercialisation de dispositifs de mesure et d'analyse de l'air des lieux de travail, pour l'évaluation des risques chimiques ;
- dispose de compétences en métrologie, capteurs, acquisition de données, traitement de signal.

L'INRS pourrait vous confier :

L'optimisation, la fabrication et la commercialisation d'un dispositif de mesure de la concentration d'ozone en continu, dans l'air des locaux de travail, pour l'évaluation des expositions professionnelles individuelles à l'ozone. Cette action est menée dans le cadre d'un transfert de savoir-faire d'un capteur spécifique à l'ozone, issu de travaux de recherche novateurs.



Expositions professionnelles à l'ozone : de quoi parle-t-on ?

Les principales applications industrielles de l'ozone sont la désinfection des eaux, la stérilisation de matériel, ou encore la conservation de denrées alimentaires. Certains procédés peuvent également émettre de l'ozone, par transformation de l'oxygène de l'air, sous l'influence d'un rayonnement ultraviolet ou laser, d'une haute tension électrique, de décharges électrostatiques ou de réactions chimiques (soudage à l'arc électrique, usage d'appareils à rayonnement UV ou électriques à haute tension, procédés d'impression laser). Ce gaz est toxique pour l'homme et une exposition à l'ozone peut provoquer des affections respiratoires et des lésions irritantes des muqueuses oculaires. En France, la valeur limite d'exposition professionnelle de l'ozone est fixée à 100 ppbv (parties par milliard en volume, soit 0,2 mg/m³) sur 8 heures, et à 200 ppbv (0,4 mg/m³) sur 15 minutes.

Quel est le caractère innovant de l'outil développé par l'INRS ?

Actuellement, il n'existe pas de méthode de prélèvement et d'analyse satisfaisante permettant d'évaluer les expositions professionnelles individuelles à l'ozone. Face à ce constat, l'INRS a développé un capteur d'ozone, répondant aux exigences requises pour l'évaluation des expositions, en termes de sélectivité, de sensibilité, de justesse et de robustesse. Reposant sur l'utilisation d'un détecteur optique qui mesure une variation d'absorbance lorsque la surface du matériau sensible est exposée à l'ozone, le dispositif final se veut simple à mettre en œuvre, portable et peu coûteux, au regard des appareils commercialisés à performances équivalentes. Le dispositif a été testé et éprouvé en laboratoire ainsi qu'en conditions réelles. La fiche technique du dispositif est disponible sur simple demande.

À qui s'adresse le dispositif ?

Il est destiné à toute entreprise concernée par le risque d'exposition à l'ozone, aux services de prévention et de santé au travail, aux caisses régionales d'assurance retraite et de santé au travail, aux laboratoires d'analyse de l'air des lieux de travail. Par extension, il pourrait être utilisé par toutes les entreprises soucieuses de suivre l'exposition professionnelle à l'ozone.

Vous êtes intéressé(e) par ce partenariat industriel ?

Contactez Sophie DELEYS
INRS

Tél. : 03 83 50 20 53
sophie.deleys@inrs.fr

INRS, rue du Morvan, CS 60027
54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex



Dossier

HOMMES – ROBOTS : COLLABORER EN SÉCURITÉ

❶ Robotique collaborative :
les enjeux en prévention
des risques professionnels
P. 20

❷ Analyse du besoin :
« Pourquoi un cobot ? »
P. 26

❸ Robots collaboratifs : de l'identification
des risques aux solutions techniques
et organisationnelles
P. 30

❹ Collaboration homme – robot
sur une chaîne de production : étude de cas
dans le secteur de l'agroalimentaire
P. 37

À partir des années 1940, Isaac Asimov, auteur de science-fiction de formation scientifique, éditait les « règles de la robotique », au début de sa saga dédiée aux robots. Sa règle numéro un était : « *Un robot ne peut pas porter atteinte à un être humain ni, par son inaction, permettre qu'un être humain soit exposé au danger.* » Les robots ont depuis quitté le seul domaine de l'imagination et sont entrés dans le monde réel. Aujourd'hui, les évolutions technologiques permettent aux fabricants et aux intégrateurs de proposer des solutions robotiques ne comportant plus de barrières entre l'homme et le robot. Les situations de coactivité homme – robot inhérentes à la robotique collaborative industrielle posent évidemment des questions de santé et de sécurité au travail. Comment les travailleurs humains vivent-ils cette nouvelle proximité ? Les tâches complexes ou pénibles prises en charge par les robots sont-elles à l'origine de nouveaux risques professionnels ? Comment réorganiser la prévention des risques en intégrant ce nouveau mode de travail qu'est la collaboration entre hommes et robots ? Autant d'interrogations soulevées par les futurs utilisateurs, et auxquelles ce dossier se propose de répondre.

HUMANS AND ROBOTS: SAFE COLLABORATION – *As early as the 1940s, Isaac Asimov, the scientist who was also a science fiction author, published the “three laws of robotics”, at the start of his saga devoted to robots. His first law was: “A robot may not injure a human being or, through inaction, allow a human being to come to harm.” Since then, robots have emerged beyond the realm of imagination to enter the real world. Today, technological advances allow manufacturers and integrators to propose robotic solutions which no longer place physical barriers between humans and robots. Situations where humans and robots work together are inherent to industrial collaborative robotics but nevertheless raise occupational health and safety questions. How do human workers feel about this new proximity? Have the complex or strenuous tasks undertaken by robots been replaced by new occupational risks? How can risk-prevention be reorganised by integrating this new mode of work which requires collaboration between humans and robots? These are the questions that future users are asking, and which this dossier attempts to answer.*

ROBOTIQUE COLLABORATIVE : LES ENJEUX EN PREVENTION DES RISQUES PROFESSIONNELS

Dans le contexte de l'industrie du futur, les entreprises tendent à plus de flexibilité¹ pour répondre aux attentes du marché. La robotique collaborative est désormais considérée comme un moyen susceptible d'atteindre cet objectif. Beaucoup d'industriels y voient l'opportunité de combiner le savoir-faire et le pouvoir décisionnel de l'être humain avec la force, l'endurance et la précision du robot. Elle est aussi souvent perçue comme une solution pouvant améliorer les conditions de travail et réduire les risques professionnels. Cet article vise à apporter un éclairage sur les enjeux de prévention, à considérer comme autant de facteurs de réussite d'un projet d'intégration.

DAVID TIHAY,
JEAN-
CHRISTOPHE
BLAISE
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

Robotique collaborative : les différents acteurs

La conception, la mise en œuvre et l'utilisation d'un robot sont encadrées, comme pour toute machine, par des obligations techniques et réglementaires, pour lesquelles les responsabilités des différents acteurs sont engagées. Ces acteurs sont le fabricant, l'intégrateur et l'utilisateur (ou employeur de l'entreprise utilisatrice) [1] :

- le fabricant de robot, ou son mandataire, a la charge de la conception et de la construction du robot. Il est également responsable de sa mise sur le marché ;
- l'intégrateur est la personne ou l'équipe chargée de concevoir et de réaliser l'installation comprenant le robot ainsi que les différents équipements nécessaires à l'installation. Il est responsable de l'étape de déclaration de la conformité de l'ensemble, en tant que maître d'œuvre de la globalité du projet ;
- l'utilisateur, ou l'entreprise utilisatrice, se sert de l'installation dans le cadre de son activité professionnelle sans être responsable ni de sa fabrication, ni de son intégration à l'état neuf. Il est toutefois en charge du maintien en état de conformité de ladite installation. Il convient de noter que l'employeur qui conçoit et fabrique une telle installation robotisée à l'état neuf pour son propre compte, en assurant la direction et la maîtrise d'œuvre globale du projet, prend le statut d'intégrateur et assume les obligations afférentes à la mise en service du produit dans son entreprise (marquage CE, déclaration de conformité, dossier technique).

Remarque importante : bien que destiné principalement aux utilisateurs, l'ensemble de ce dossier consacré à la robotique collaborative contient des informations utiles aux différents acteurs impliqués

et devrait permettre de faciliter les échanges entre tous ces intervenants : concepteurs/fabricants d'une part, utilisateurs d'autre part. Ces échanges étant indispensables à la réussite d'un projet de mise en œuvre d'une installation robotisée.

ENCADRÉ DÉFINITIONS

• **Robot :** D'après la norme NF EN ISO 10218-1, un robot est un bras manipulateur programmable destiné à des applications multiples. Il évolue sur au moins trois axes et peut être fixe ou mobile. Par définition, le robot n'a donc pas d'application spécifique. S'il est utilisé dans un environnement industriel, alors on parle de robot industriel.

• **Système robot :** Ce robot, lorsqu'il est complété par tous les équipements externes nécessaires à l'accomplissement de la tâche à laquelle il est destiné (outils, axes externes, machines, etc.), devient un « système robot ». À noter que ce système robot constitue une machine au sens de la directive n° 2006/42/CE et doit à ce titre répondre aux exigences de cette directive.

• **Cellule robotique :** D'après la norme NF EN ISO 10218-2, il s'agit d'un ou de plusieurs systèmes robots complétés par les mesures de prévention adéquates. La mise en œuvre de la cellule robotique nécessite la définition claire de l'espace maximal d'évolution du système robot, de l'espace contrôlé par une protection périmétrique et éventuellement de l'espace partagé avec le salarié (appelé également espace de travail collaboratif).

Qu'est-ce que la robotique collaborative ?

Le développement des nouvelles technologies de robotique a conduit à l'apparition d'un vocabulaire nouveau. Par exemple, le terme « cobot », qui résulte de la contraction des mots « collaborative » et « robot », a conduit à parler de « cobotique ». Face à l'étendue de ces termes nouveaux, pas toujours très représentatifs et parfois même issus de dénominations commerciales, les organismes de normalisation se sont consacrés à l'établissement de définitions précises concernant ces robots et les applications possibles. Dans le domaine industriel, les principaux documents normatifs applicables sont les normes NF EN ISO 10218-1 [2], NF EN ISO 10218-2 [3] et la spécification technique ISO TS 15066 [4]. L'encadré et la Figure 1 explicitent les trois niveaux qui distinguent le « robot » de la « cellule robotique », en passant par le « système robot ».

Au-delà de la terminologie spécifiée dans ces normes, il est important de retenir que la notion de collaboration est liée à l'application. Il existe différentes façons d'envisager cette collaboration, et là aussi le vocabulaire associé est assez fourni : coactivité, coexistence, coopération...

Une analyse de la littérature [5] met en évidence cette grande diversité quant à la terminologie employée pour définir les possibilités d'interaction entre l'homme et le robot. Cette même analyse propose de catégoriser ces situations en fonction de leur niveau d'interaction. Trois modes de collaboration ont ainsi été définis (Cf. Figure 2) :

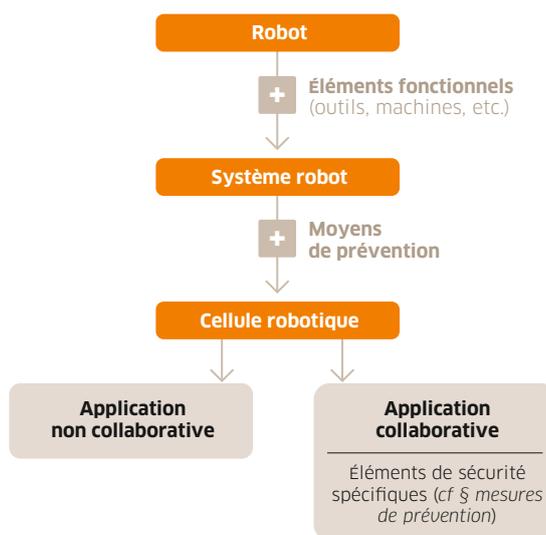
- **partage d'espace de travail** : l'opérateur et le robot effectuent des tâches distinctes pour lesquelles ils peuvent être amenés à partager, de façon permanente ou ponctuelle leur espace de travail ;
- **collaboration indirecte** : l'opérateur et le robot travaillent sur une même pièce mais leurs actions sont alternées ;
- **collaboration directe** : l'opérateur et le robot travaillent simultanément à la réalisation de la même pièce.

Les besoins et attentes des utilisateurs

Une étude menée par l'INRS [6,7] a montré que le mode de collaboration le plus attendu par les industriels, dans 61 % des cas, était le partage d'espace de travail. C'est le mode qui semblait le mieux répondre à leur besoin de flexibilité.

Seuls 11 % des industriels interrogés ont déclaré un intérêt pour la collaboration directe. Les 28 % restant étaient quant à eux intéressés par la collaboration indirecte.

Ces résultats s'expliquent par les besoins exprimés par les industriels. En effet, comme on peut le constater (Cf. Tableau 1), les attentes des industriels interrogés vis-à-vis de la robotique collaborative ne nécessitaient souvent qu'un niveau d'interaction relativement faible.



← FIGURE 1
La robotique en milieu industriel.



← FIGURE 2
Les différents modes de collaboration homme – robot.



→TABLEAU 1
Attentes des
utilisateurs
de robotique
collaborative [7].

EXPRESSION DU BESOIN DE COACTIVITÉ	
Faciliter la réalisation des opérations de maintenance (entretien, nettoyage, surveillance)	27,3%
Faciliter la réalisation des opérations liées au process à proximité du robot (chargement/déchargement, prélèvement, opération manuelle)	18,2%
Réduire l'occupation au sol de la cellule (passage plus aisé, intégration du robot sur une ligne existante)	15,2%
Réduire les TMS	9,1%
Pallier des problèmes techniques	9,1%
Vitrine technologique	9,1%
Faciliter la réalisation d'opération de réglages	6,1%
Améliorer la mobilité et la réutilisation du robot	6,1%

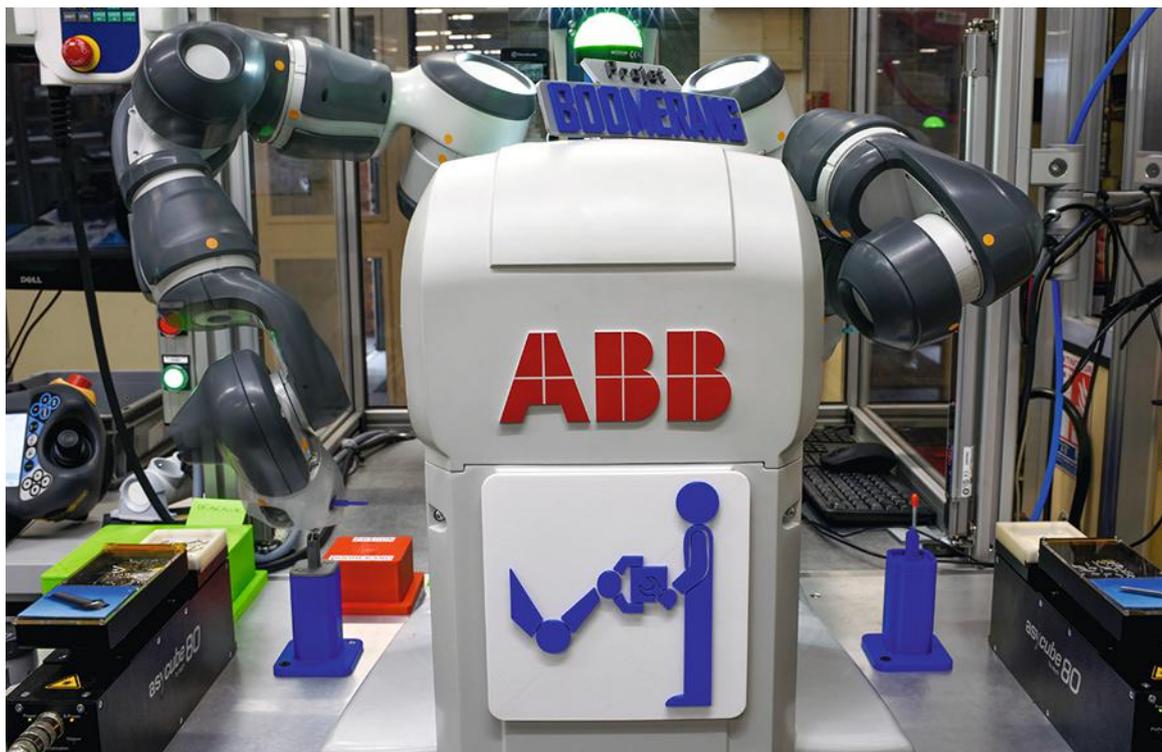
Source : [7]. Voir : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2058>.

Le besoin de collaboration est même, dans certains cas, quasi inexistant, mais le recours à ce type de robotique correspondait par exemple à un besoin de pallier des problèmes techniques entraînant des incidents de production ou encore contribuait simplement à constituer une vitrine technologique pour l'entreprise. Il est à noter toutefois que cette étude a été menée entre 2015 et 2017, à un moment où cette technologie était émergente en France; les industriels cherchaient encore à se l'approprier et devaient imaginer des applications nouvelles.

La gestion des risques : vers un nouveau paradigme ?

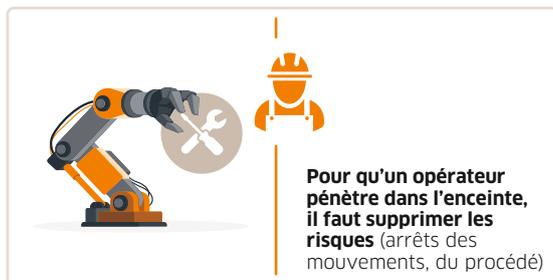
Dans le cadre des installations robotiques « traditionnelles », une protection périmétrique, physique

et/ou immatérielle, permet de prévenir un nombre important de risques (risques mécaniques, risques liés aux énergies, risques liés au procédé) et elle peut aussi contribuer à limiter l'exposition à des phénomènes dangereux tels que le bruit, les vibrations. Ainsi, l'intervention d'un opérateur ne peut s'effectuer (de manière simplifiée) que lorsque la suppression des risques est effective : arrêt des mouvements, arrêt du procédé, etc. (Cf. Figure 3). Or, en robotique collaborative, la proximité immédiate de l'opérateur avec le robot, rendue nécessaire par le besoin de collaboration, implique de supprimer de façon partielle ou totale les protecteurs physiques traditionnellement utilisés. Dès lors, l'opérateur peut se trouver exposé à de nombreux risques, qui ne sont plus couverts par ces protecteurs.



Cobot industriel
utilisé pour
la fabrication
de connecteurs
optiques.

© Guillaume J. Plisson pour l'INRS/2017



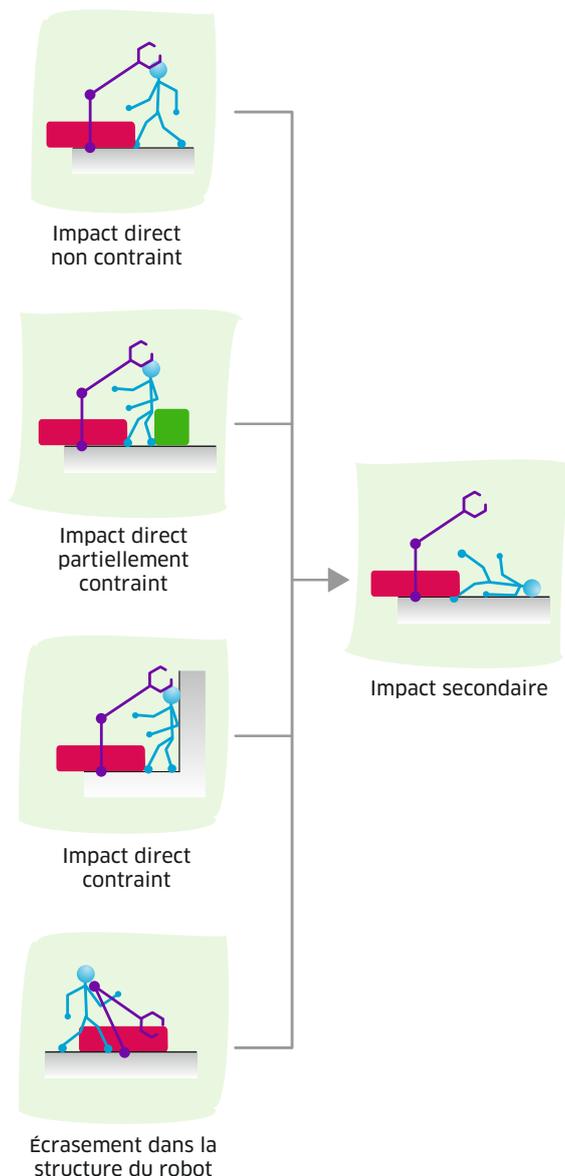
Cette façon de procéder soulève donc des questions de santé et de sécurité pour les opérateurs et les tierces personnes. En effet, les risques auparavant rendus « invisibles », car pris en compte globalement par une même protection (toujours de manière simplifiée bien sûr), doivent, à nouveau, être identifiés afin d'être maîtrisés.

Ces risques sont liés au robot lui-même, mais aussi au procédé global de l'application dans laquelle il est intégré, et en particulier à l'outil utilisé ainsi qu'à la pièce manipulée.

Parmi ces risques, quatre familles sont principalement identifiées :

- des risques mécaniques ; du fait de la diversité des situations de travail en robotique collaborative, les scénarios de contact entre l'humain et le robot sont multiples (Cf. Figure 4) : impact direct non contraint, partiellement contraint ou contraint, écrasement dans la structure du robot, impact secondaire. Ces contacts peuvent entraîner des blessures par écrasement, cisaillement, des chocs, ou encore, selon la nature de l'activité, ils peuvent être à l'origine de coupures, de sectionnements, de perforations... ;
- des risques psychosociaux ; au-delà des problèmes d'acceptation à prendre en compte lors de la mise en œuvre d'une installation de robotique collaborative, la présence d'un robot en mouvement à proximité de l'opérateur peut constituer un facteur de stress supplémentaire. Cela peut conduire également à une augmentation de la charge mentale liée à la cadence de travail lorsque celle-ci est imposée par le robot ;
- des risques de troubles musculo-squelettiques (TMS) ; la cadence imposée par le robot peut également être source de TMS. Le travail en collaboration avec un robot peut entraîner l'apparition de nouvelles opérations manuelles à l'origine

Scénarios de contact



← ← FIGURE 3 (à gauche) Principe de la sécurité en robotique « traditionnelle ».

← FIGURE 4 (à droite) Risques mécaniques en robotique collaborative [7].

de contraintes gestuelles pouvant également conduire à des TMS ;

- des risques spécifiques ; liés directement à la nature du procédé dans lequel est intégré le robot. Il peut s'agir, par exemple, d'exposition à des poussières, à des fumées, à de fortes températures, à des produits chimiques, etc.

Il existe des mesures de prévention visant à supprimer ou à réduire ces risques, mais afin d'identifier les plus appropriées, il est indispensable que la mise en œuvre de l'application de robotique collaborative soit encadrée par une démarche globale d'analyse et de réduction du risque. L'introduction de robots collaboratifs dans une entreprise a également des conséquences sur l'organisation, sur les collectifs de travail et sur les opérateurs. C'est pourquoi une démarche globale d'intégration,



prenant en compte toutes les dimensions de l'activité de travail et impliquant le plus en amont possible les utilisateurs, est incontournable.

Nécessité d'une démarche d'intégration d'une application collaborative

Comme pour toute démarche impliquant un changement de l'outil de production, avant d'envisager le recours à une solution de robotique collaborative, il est indispensable de spécifier les besoins de l'application sans omettre, ici, de s'interroger sur la nécessité de collaboration. Il faut identifier les interactions souhaitées, leur fréquence, les « phases de vie » dans lesquelles elles sont prévues (maintenance, production, réglage, etc.). Cette étape de questionnement est fondamentale ; elle permet, avant même de s'engager dans une démarche d'intégration, de s'assurer de la faisabilité et de la pertinence du projet. En effet, alors que la robotique collaborative est souvent perçue comme une solution universelle à toutes sortes de problématiques (de production, de performance, d'innovation, mais aussi de prévention), il est essentiel de lever certains doutes quant à son application. Pour cela, tout industriel tenté par l'acquisition d'un robot collaboratif peut s'appuyer sur la brochure de l'INRS ED 6386 [8].

Les robots collaboratifs suscitent de plus en plus d'intérêt. Pour autant, sont-ils sûrs ? Permettent-ils de soulager les opérateurs ? Peuvent-ils être considérés comme des « collègues » comme les autres ? Peuvent-ils remplacer les robots industriels classiques ? Cette brochure répond aux principales questions que peut se poser un chef d'entreprise tenté par l'acquisition d'un robot collaboratif, afin d'améliorer les conditions de travail de ses salariés, tout en augmentant sa performance. Elle éclaire notamment sur les conséquences de l'utilisation des robots collaboratifs sur la santé et la sécurité des opérateurs.

Comme mentionné dans le paragraphe précédent, la collaboration homme-robot peut générer des risques. Après avoir vérifié qu'un robot collaboratif correspond bien au besoin de l'application à développer, il est indispensable de réaliser une analyse de risque de la situation envisagée. Il faut alors s'assurer que les mesures de prévention existantes permettront de prendre en compte les risques identifiés. Il existe des éléments de sécurité spécifiques à la robotique collaborative. Ces éléments peuvent parfois s'avérer incompatibles avec les attendus de production, conduisant alors à une infaisabilité technique. L'identification précise des interactions homme-robot s'avère indispensable pour ne pas être amené à renoncer au projet, compte tenu des contraintes imposées, afin d'assurer la sécurité des opérateurs. Seules les interactions nécessaires à l'application doivent être considérées. Il est plutôt recommandé d'envisager des protecteurs phy-

siques si aucune interaction n'est essentielle, ceci permet une optimisation de l'application, en particulier en termes de vitesse du robot et donc de temps de cycles, tout en assurant un niveau de protection optimal pour les opérateurs.

Dès lors que la compatibilité entre le besoin, les risques et les solutions de prévention est démontrée, l'intégration peut être réalisée (Cf. Figure 5). Il faut également prévoir un suivi de la future installation, afin de vérifier que cette adéquation entre la solution proposée et le besoin spécifié initialement est pérenne et, ainsi, surveiller les dérives ; une installation bien acceptée au départ peut perdre, au fil du temps, en « crédibilité ».



↑ FIGURE 5 Démarche globale de prévention.

Conclusion

L'apparition de la robotique collaborative permet d'envisager des situations de travail autorisant l'homme et le robot à travailler ensemble. Néanmoins, la mise en œuvre de ces robots et la suppression des protecteurs physiques, souvent envisagée, soulèvent des questions de santé et de sécurité pour les salariés.

Il existe des solutions techniques qui, associées à des mesures organisationnelles, permettent de réduire les risques liés à la proximité homme-robot (Cf. article « Robots collaboratifs : de l'identification des risques aux solutions techniques et organisationnelles », p. 30 de ce dossier). Cependant, il peut s'avérer que la mise en œuvre de ces mesures de prévention, incompatibles avec la collaboration souhaitée, conduisent à une insatisfaction des utilisateurs, voire à renoncer au projet.

C'est pourquoi une démarche globale de prévention doit être mise en œuvre dès le début du projet. Elle doit débiter par une analyse du besoin (Cf. article « Analyse du besoin : pourquoi un cobot ? », p. 26 de ce dossier), afin de s'assurer a priori de la faisabilité de l'intégration d'une



© Vincent Nguyen pour l'INRS/2019

Cobot d'assistance mécanique au ponçage dans l'industrie aéronautique.

solution robotique. L'analyse des risques associés permet ensuite d'identifier les différentes mesures de prévention les plus adaptées. Un suivi régulier de l'installation devra enfin être mis en place, afin de s'assurer de l'absence de dérives pouvant mener à discréditer l'installation.

À ce jour, comme pressenti [6,7], les robots dits collaboratifs ne sont pas tant choisis pour des applications collaboratives que pour des applications standards, parce qu'ils sont plus facilement intégrables de par leur taille réduite, leur coût plus faible, « l'absence de cage » d'encoffrement et leur facilité de programmation. Les robots collaboratifs peuvent effectivement, en théorie, être utilisés pour des applications de robotique industrielle. Toutefois, leurs caractéristiques techniques actuelles limitent encore cette possibilité. Ils restent moins précis et moins rapides que les robots industriels classiques et ne peuvent pas manipuler de lourdes charges. Ils ne permettent donc pas toujours d'obtenir les gains de productivité escomptés.

Enfin, même s'ils peuvent, dans certains cas, soulager l'opérateur en le déchargeant de certaines

tâches répétitives ou contraignantes, les robots collaboratifs ne sont pas une réponse systématique. Ils s'inscrivent dans un *continuum* de solutions techniques composé également d'exosquelettes, de robots mobiles, de drones, etc. Quelle que soit la solution technique envisagée, elle devra se confronter à la même démarche globale de prévention pour que son intégration soit réussie. ●

1. Du point de vue de la prévention des risques, la « flexibilité » recouvre de nombreux aspects d'organisation, et n'est pas limitée à une seule vision idéologique du travail ou de la production. Voir par exemple : <https://www.inrs.fr/inrs/themes-travail/industrie-du-futur/flexibilite.html> ; et aussi : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2058>.

POUR EN SAVOIR +

• **Actes de la Journée technique « Robotique collaborative »**, organisée par l'INRS le 21 juin 2021 : <https://www.inrs.fr/footer/actes-evenements/journee-technique-robots-collaboratifs.html>.

BIBLIOGRAPHIE

[1] DGT – *Guide de prévention à destination des fabricants et des utilisateurs pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées*. Ministère chargé du Travail, Direction générale du travail, édition 2017, 50 p. Accessible sur : http://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/guide_de_prevention_25_aout_2017.pdf.

[2] NORME NF EN ISO 10218-1 – *Exigences de sécurité pour les robots industriels. Partie 1 : Robots*. Afnor, 2011, 56 p. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[3] NORME NF EN ISO 10218-2 – *Exigences de sécurité pour les robots industriels. Partie 2 : Systèmes robots et intégration*. Afnor, 2011, 90 p. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[4] NORME ISO TS 15066 – *Robots and robotic devices. Collaborative robots*. Genève, Iso, 2016, 39 p.

[5] VICENTINI F. – *Terminology in safety of collaborative robotics. Robotics and computer integrated manufacturing*. Elsevier, 2019, Vol. 63, 7 p.

[6] TIHAY D., PERRIN N. – Human-robot coactivity: need's analysis. In: *Proceedings of the 9th International Conference on Safety of Industrial Automated Systems (SIAS 2018)*. Nancy, 10-12 octobre 2018, pp. 40-47.

[7] TIHAY D. – Robotique collaborative : perception et attentes des industriels. *Hygiène & sécurité du travail*, 2018, 250, NT 58, pp. 50-57. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=NT%2058>.

[8] INRS – *Dix questions sur les robots collaboratifs*. INRS, ED 6386, 2020, 24 p. Accessible sur : www.inrs.fr.

ANALYSE DU BESOIN : « POURQUOI UN COBOT ? »

Face au développement des applications collaboratives, le Centre technique des industries mécaniques (Cetim) a engagé une réflexion sur les facteurs pouvant motiver l'acquisition de tels équipements, afin d'apporter aux industriels susceptibles d'y recourir, une aide au choix argumentée. Ce travail a permis de construire une démarche et un outil pour identifier les applications robotiques potentielles et analyser leurs applications futures. Cette étape d'analyse du besoin est un prérequis nécessaire à une intégration sûre de ces applications.

SYLVAIN
ACOULON,
RÉMY ROIGNOT
Centre d'études
des industries
mécaniques
(Cetim)

Un questionnement autour du besoin

Bien que l'offre du marché concernant les robots capables de réaliser des applications collaboratives ne cesse de s'accroître, la question de l'adéquation entre le besoin industriel et ces nouvelles solutions se pose. En effet, ces nouveaux robots sont vus comme une offre alternative à la robotique plus classique, dans le sens où ils permettraient de répondre de façon plus flexible aux besoins des industriels (notamment les PME). Mais considérer que cette nouvelle forme de robotique serait la réponse par rapport à toute autre solution, apparaît comme trop réducteur, et requiert d'être vérifié.

En complément, la difficulté constatée à trouver les informations pertinentes dans l'offre du marché, et l'efficacité réelle du marché pour répondre aux objectifs de sécurité, de flexibilité ou de productivité a pu entraîner des choix non appropriés, qui ont conduit soit à la non-utilisation de l'équipement, soit à l'affecter à une application plus classique, où il ne constituait pas finalement la meilleure solution. Parfois, les capacités «collaboratives» ne sont pas forcément utilisées dans l'application choisie. En conclusion, il était nécessaire de répondre à la question : «*Quels sont les éléments ou outils qui permettraient à un industriel d'opérer ses choix sereinement, lorsqu'il désire robotiser une tâche sans se tromper ?*»

Face à cette demande d'accompagnement des entreprises, le Centre technique des industries mécaniques (Cetim) a décidé de construire une démarche et un outil, basés sur son expérience dans l'aide à la robotisation¹ et sur son expertise d'intégration de la sécurité dans la conception de nouveaux robots (ou cobots) ou d'ilots robotisés. L'objectif visé était de mettre à disposition une démarche permettant de définir les critères importants qui aident au choix d'une solution d'automatisation/robotisation (qu'elle soit collaborative

ou non). Cette démarche porte le nom « Arthur² », et vise à renseigner tout responsable sur les différentes solutions qui s'offrent lui, les classant suivant la hiérarchisation de ses besoins.

Une définition des critères : la méthode « Arthur »

La méthode « Arthur » s'articule autour d'une démarche et d'un outil. La première phase de cette démarche consiste en une identification des applications robotiques candidates. Elle est ensuite suivie d'une analyse détaillée d'une application de robotique collaborative³.

L'objectif peut se résumer ainsi : « *disposer d'un avis rapide et argumenté sur des cas d'applications industrielles qui visent (au départ) une collaboration entre un opérateur et un robot (quel que soit ce type de collaboration)* ».

Pour parvenir à cet avis, il est nécessaire de parcourir plusieurs étapes de façon itérative, de la prise d'informations jusqu'à la synthèse. Ces différentes étapes passent à la fois par un échange d'informations et par l'utilisation d'outils type matrices de choix. Un spécialiste de la méthode va conduire la démarche, depuis le questionnement sur les cas d'applications, les enjeux de l'automatisation/robotisation, les critères de choix principaux, jusqu'à la restitution. Il remplit les différentes matrices, selon la hiérarchisation des besoins évoqués par les responsables industriels et désireux de robotiser. Un document de synthèse est obtenu au terme de la démarche, il établit la hiérarchisation des solutions et les critères prépondérants utilisés. Les éléments le constituant pourront composer une première base à la réalisation du cahier des charges⁴.

L'ensemble des étapes de la démarche peut être représenté de la manière décrite dans la Figure 1.



© Vincent Neuyen pour l'INRS/2019

Ligne de production de pièces détachées dans l'industrie automobile tenue par un conducteur de ligne et quatre cobots (robots collaboratifs).

Décomposition de la démarche dans « Arthur »

La première étape (*étape 1, cf. Figure 1*), la prise d'informations, concerne le contexte de développement de l'entreprise afin de comprendre quels sont les objectifs stratégiques dans le cadre desquels s'inscrit cette démarche. Ce dialogue est mené avec, de préférence, le responsable de l'établissement ou toute personne avec une vision stratégique. Il permet de faire un point sur la situation actuelle, propre à l'entreprise, sur les critères suivants :

- produits, marchés ;
- volumes, saisonnalité ;
- process, cadences ;
- qualités, coûts, délais ;
- temps d'ouverture des ateliers ;
- autres aspects importants (exemples : ancienneté moyenne du personnel, qualification nécessaire, turnover...).

En complément, les évolutions envisagées, à plus ou moins long terme selon ces critères, sont abordées, en mettant l'accent sur les moteurs qui permettent de parvenir aux objectifs, ou d'identifier les freins à ce moment de la démarche (par exemple : un nombre important d'innovations permettant d'offrir une gamme renouvelée chaque année, un stockage de produit trop important à réduire). Ces premiers éléments vont aider à orienter l'entreprise vers des pistes d'automatisation d'un point de vue général et serviront, au-delà des seuls postes spécifiques qui vont être identifiés et analysés, à entrevoir des solutions plus durables, ou plus flexibles. Ce questionnement est poursuivi par une formulation des enjeux de l'entreprise autour des objectifs visés. Ceci afin de connaître sur quel axe

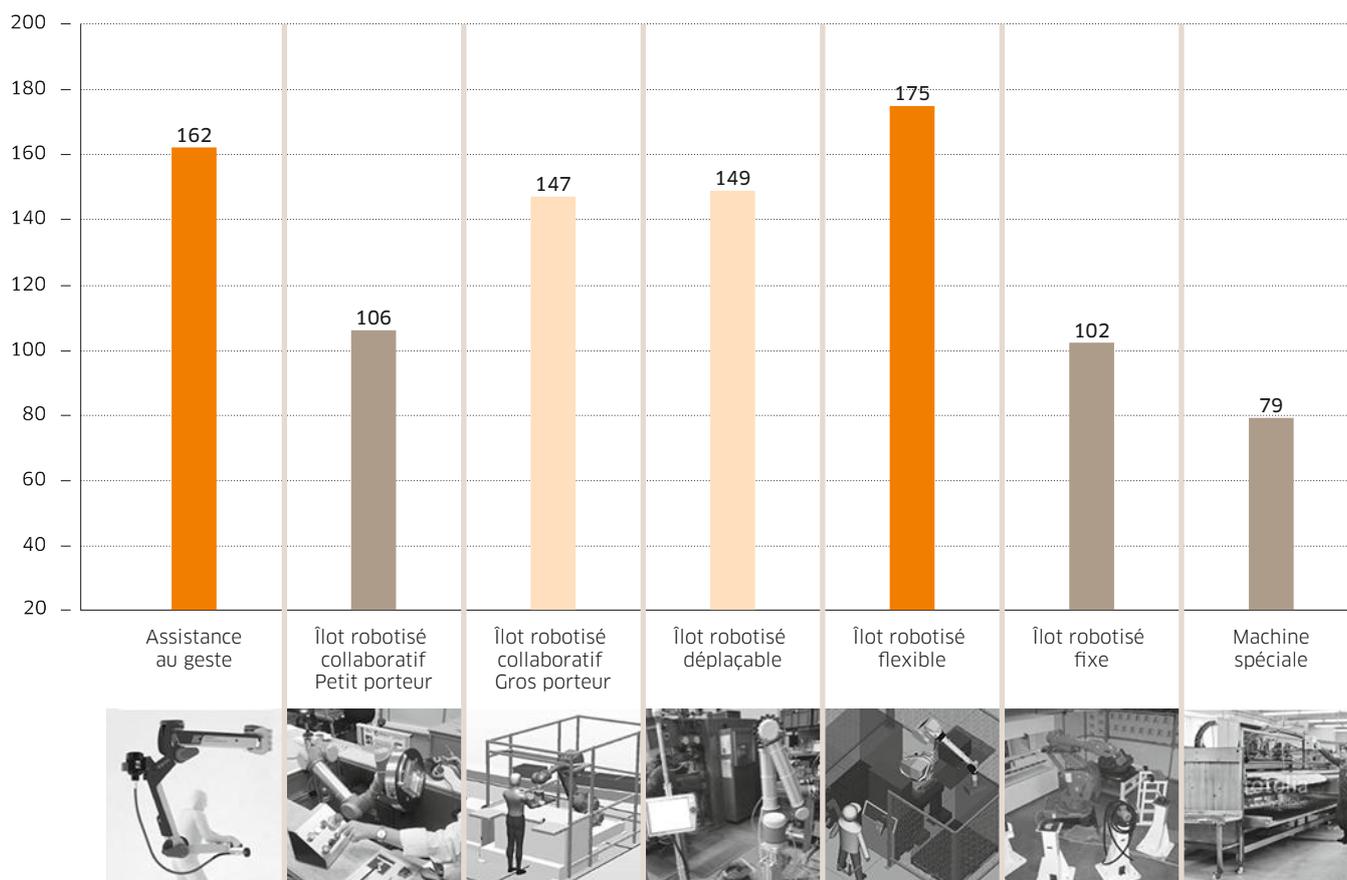
les efforts conduisant à une automatisation/robotisation doivent porter et en accordant une attention particulière sur les moteurs ou freins éventuels. Les principaux critères à prendre en compte sont :

- les conditions de travail (*exemple : pénibilité, de plus en plus de produits de grandes dimensions à manipuler, travail régulier avec les organismes type Carsat pour amélioration de certains postes*) ;
- les ressources humaines (*ex. : beaucoup de personnel intérimaire utilisé, difficulté de recrutement, polyvalence sur plusieurs postes recherchés, manque de personnel disponible pour répondre à certaines commandes dans les délais*) ;
- les coûts (*ex. : pas de maîtrise des temps de process*) ;
- la qualité (*ex. : contrôle effectué à 100 % sur aspect, dimension, difficile à automatiser/robotiser*) ;
- les délais (*ex. : délai très court demandant un stockage important, manque de personnel disponible*) ;

- 1 Prise d'informations générales
- 2 Identification des applications visées
- 3 Récupération des critères de chaque application
- 4 Hiérarchisation par pondération
- 5 Définition des pistes de solutions
- 6 Remplissage des matrices de choix
- 7 Résultat du diagnostic
- 8 Synthèse et points de vigilance

←FIGURE 1
Présentation synthétique des étapes de la démarche déployée dans le cadre de la méthode « Arthur ».





↑ FIGURE 2
Exemple du résultat d'analyse d'une application à robotiser.

- les autres aspects/considérations (ex. : moyens recherchés pouvant être placés, au besoin, sur plusieurs machines, facilité de remise en marche par un personnel peu qualifié).

Une fois ce tour d'horizon réalisé, il est alors possible de se concentrer de manière plus précise sur les applications identifiées au départ par l'entreprise (Cf. étape 2, cf. Figure 1). Une visite d'atelier permet de bien cerner la problématique et les spécificités du métier des industriels. Ce tour d'atelier offre également la possibilité d'envisager la robotisation d'autres postes qui n'ont pas été préalablement identifiés, mais qui pourraient présenter un intérêt pour l'entreprise à être automatisés/robotisés, suivant les solutions disponibles sur le marché et les enjeux de l'entreprise. À l'issue de cette étape, les premiers éléments de choix peuvent être envisagés (étape 3, cf. Figure 1), en se focalisant sur des données plus techniques propres aux postes identifiés, qui sont notamment :

- l'intitulé de l'application, du poste ;
- l'équipement, machine servie, alimentée ;
- le type de pièces, les références ;
- la taille des séries ;
- le nombre de références ;
- les temps de cycles manuels (en considérant que les postes analysés sont des postes actuellement manuels).

Ces données renseignent sur la diversité des pièces, le nombre à traiter, les cadences visées et permettent d'orienter, déjà à ce stade, sur des types de solutions. Par exemple, une grande cadence est non adaptée à la robotique collaborative, ni aux systèmes d'assistance à l'opérateur. Dans ce cas, il est nécessaire de privilégier une solution de robotique classique, voire une machine spéciale, plutôt qu'un « cobot ». En outre, un rappel des objectifs visés (coûts, qualité, délai, conditions de travail) pour chaque application est réalisé, ainsi que l'état d'avancement d'un éventuel projet sur ces applications (idées/concepts/premières réflexions, cahier des charges déjà réalisé, consultation en cours, tests de faisabilité...). De même, pour la réussite du projet, il est nécessaire de s'assurer de l'existence d'une équipe projet et des compétences présentes dans l'entreprise concernant le suivi, la conception, la réalisation, et enfin, d'évaluer le budget prévu. Pour identifier les solutions les mieux adaptées à la problématique, une analyse des opérations réalisées sur chaque application vient compléter les données précédentes et renseigne notamment sur la pièce à produire (poids, matière, spécificité), le degré d'autonomie de l'équipement souhaité (en production, contrôle, changement de série), l'évolution recherchée par rapport au poste précédent sur chaque opération, le besoin en précision,

la répétabilité, l'accessibilité à la zone de travail, la surface disponible au sol, les interfaces possibles liées aux machines avec lesquelles l'équipement devra communiquer. Pour finaliser, le degré de reconception éventuelle de la pièce et les types de stockages amont et aval sont étudiés.

Toutes ces données sont utilisées pour compléter une matrice qui fait le lien avec les solutions les mieux adaptées, allant de l'assistance au geste (équilibreur, cobot d'assistance) à la machine spéciale, en passant par la robotique classique et/ou collaborative.

En complément, il reste une hiérarchisation (avantages, inconvénients, priorités, etc.) à réaliser suivant les objectifs de l'entreprise. Pour cela, une seconde matrice de pondération est utilisée. Dans celle-ci, les items sont renseignés en indiquant si l'un est plus important qu'un autre ou de poids égal (étape 4, cf. Figure 1). Même si tous les items sont importants, le but est de faire apparaître où l'accent doit être particulièrement mis. Parmi ceux-ci :

- la disponibilité du (futur) moyen (de production) pour l'utiliser avec d'autres machines ;
- le dégagement du temps opérateur (pour réaliser d'autres tâches) ;
- le délai de mise à disposition du moyen ;
- l'ergonomie du poste ;
- le temps, la facilité d'appropriation du poste ;
- la présence de l'opérateur dans la zone ;
- la productivité, la cadence, le temps de cycle ;
- la qualité, la répétabilité du process.

Ces items étant génériques, certains peuvent ne pas apparaître en priorité après pondération, si avec ceux-ci aucune difficulté n'était identifiée sur le poste au départ (exemple : pas de problème d'ergonomie), ou à l'inverse, apparaître comme pénalisants pour tous les autres (exemple : si la disponibilité du futur moyen pour être utilisé avec d'autres machines est une contrainte forte, alors le choix d'une machine déplaçable s'impose, ce qui réduit les solutions envisageables). Dans tous les cas, cette étape doit amener à une discussion sur les pistes de solutions et si besoin, nécessiter de revoir la pondération du besoin, ou les enjeux initiaux.

Une fois toutes ces informations collectées et insérées dans les matrices en lien avec les pistes de solutions (étapes 5 et 6), une synthèse (étape 7, cf. Figure 1) est réalisée et représentée de manière simplifiée, sous forme de graphique faisant apparaître les solutions à privilégier, celles peu adaptées, ou à éviter (Cf. Figure 2)⁵.

Cette synthèse graphique est favorablement complétée d'informations qui expliquent les résultats, et donnent ainsi la latitude éventuelle pour passer d'une solution à une autre. Elles sont complétées par des points de vigilance (étape 8, cf. Figure 1), liés aux difficultés perçues à ce stade

et qui pourraient remettre en cause la bonne réalisation d'un futur projet de robotisation/automatisation (Cf. Tableau 1).

La démarche « Arthur » permet à tout responsable du projet de mieux connaître et comprendre les solutions techniques qu'il est possible de mettre en œuvre, en ayant pris la mesure des opportunités ou freins réels de certaines solutions, et en précisant les critères importants qui orientent le choix d'une solution donnée.

Cette analyse doit permettre d'engager la discussion avec un éventuel fabricant de solutions et/ou d'éclairer l'entreprise sur les compétences à posséder en interne, afin de mener un tel projet à bien. ●

1. Voir : Programme Robot Start PME [1]. Voir aussi : https://www.robotstartpme.fr/sites/default/files/presse_files/dp_rspme_30_11_undef.pdf.
2. Arthur : acronyme pour « Analyse de répartition des tâches entre un humain et un robot ».
3. Voir le mode de collaboration selon le guide de prévention pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées du ministère chargé du Travail [3].
4. Voir notamment l'article sur le cahier des charges. In : Dossier (pp. 27-29) « De la conception au recyclage d'une machine, la sécurité avant tout » [4].
5. Règles intégrées aux matrices. Ces règles permettent de pondérer le poids de chaque critère par rapport à chaque solution. Plus le chiffre est élevé, plus la solution en rapport apparaît adaptée aux besoins de l'entreprise.

↓ **TABLEAU 1**
Exemple de compléments apportés au résultat d'analyse.

AVIS DE L'EXPERT

Synthèse du projet	Approche collaborative non évidente : peu d'interventions opérateur en cycle pour des raisons liées à la production. Îlot robotisé flexible le plus adapté et permettant certaines interventions dans les zones d'alimentation ou d'évacuation (à dimensionner selon les besoins).
Points de vigilance identifiés	Techniques : <ul style="list-style-type: none"> • Dépilage des tôles ; • Manipulation des flancs ; • Choix des outillages 1 ou 2 en fonction des temps de cycle ; • Architecture de cellule.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] PROGRAMME ROBOT START PME – Accessible sur : <https://www.symop.com/tag/robot-start-pme/>.
- [2] CETIM – Choisir le bon robot avec Arthur. Accessible sur : <https://www.cetim.fr/temoignages/fermob2/>.
- [3] MINISTÈRE CHARGÉ DU TRAVAIL – Guide de prévention à destination des fabricants et des utilisateurs pour la mise en œuvre des applications collaboratives robotisées, 2017, 50 p. Accessible sur : https://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/guide_de_prevention_25_aout_2017.pdf.
- [4] DAILLE-LEFEBVRE B, ROIGNOT R. – Acquérir une machine : de l'importance du cahier des charges. In : POYARD J.L. ET AL. – Dossier : De la conception au recyclage d'une machine, la sécurité avant tout. *Hygiène & sécurité du travail*, 2016, DO 15, pp. 27-29. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=DO%2015>.

ROBOTS COLLABORATIFS : DE L'IDENTIFICATION DES RISQUES AUX SOLUTIONS TECHNIQUES ET ORGANISATIONNELLES

Le besoin de flexibilité au travail¹ a conduit à l'émergence d'un nouveau type d'application robotique, dans lequel l'homme travaille en étroite collaboration avec le robot. Ce nouveau schéma de travail implique *a priori* la disparition des protections physiques classiques qui tenaient l'être humain à l'écart d'éventuels phénomènes dangereux. Il est donc nécessaire d'aborder une nouvelle stratégie de prévention des risques pour le cas particulier des applications de robotique collaborative.

Cet article donne un aperçu des nouveaux risques liés à la robotique collaborative et expose les solutions techniques et organisationnelles qui permettent de les prévenir. Les solutions exposées dans cet article doivent être intégrées dans une démarche itérative de réduction du risque.

ADEL SGHAÏER
INRS,
département
Ingénierie des
équipements
de travail

LIËN WIOLAND
INRS,
département
Homme
au travail

→ FIGURE 1
Échanges
pluridisciplinaires
de l'amont du
projet (analyse
du besoin
et des risques)
jusqu'à sa
mise en œuvre.

L'intégration sûre d'une application de robotique collaborative nécessite une approche pluridisciplinaire pour identifier les différents risques susceptibles d'être présents au cours du cycle de vie de l'application, en vue de sélectionner le robot le plus apte à répondre aux exigences de sécurité et de mettre en œuvre les solutions appropriées, tant d'un point de vue technique qu'organisationnel (Cf. Figure 1). Cette

approche doit impliquer les différents acteurs tels que l'entreprise utilisatrice, l'opérateur, l'intégrateur.

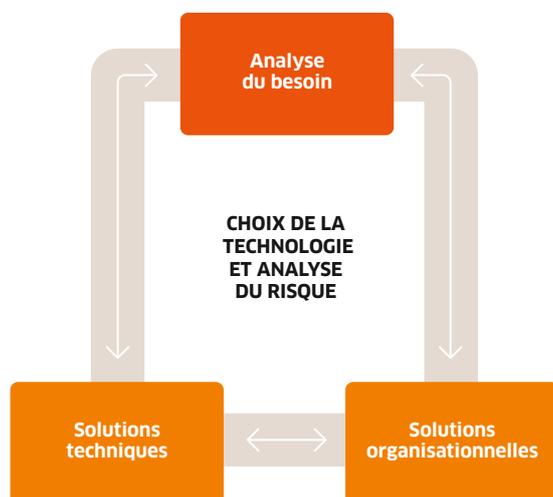
Risques liés à la collaboration homme – robot

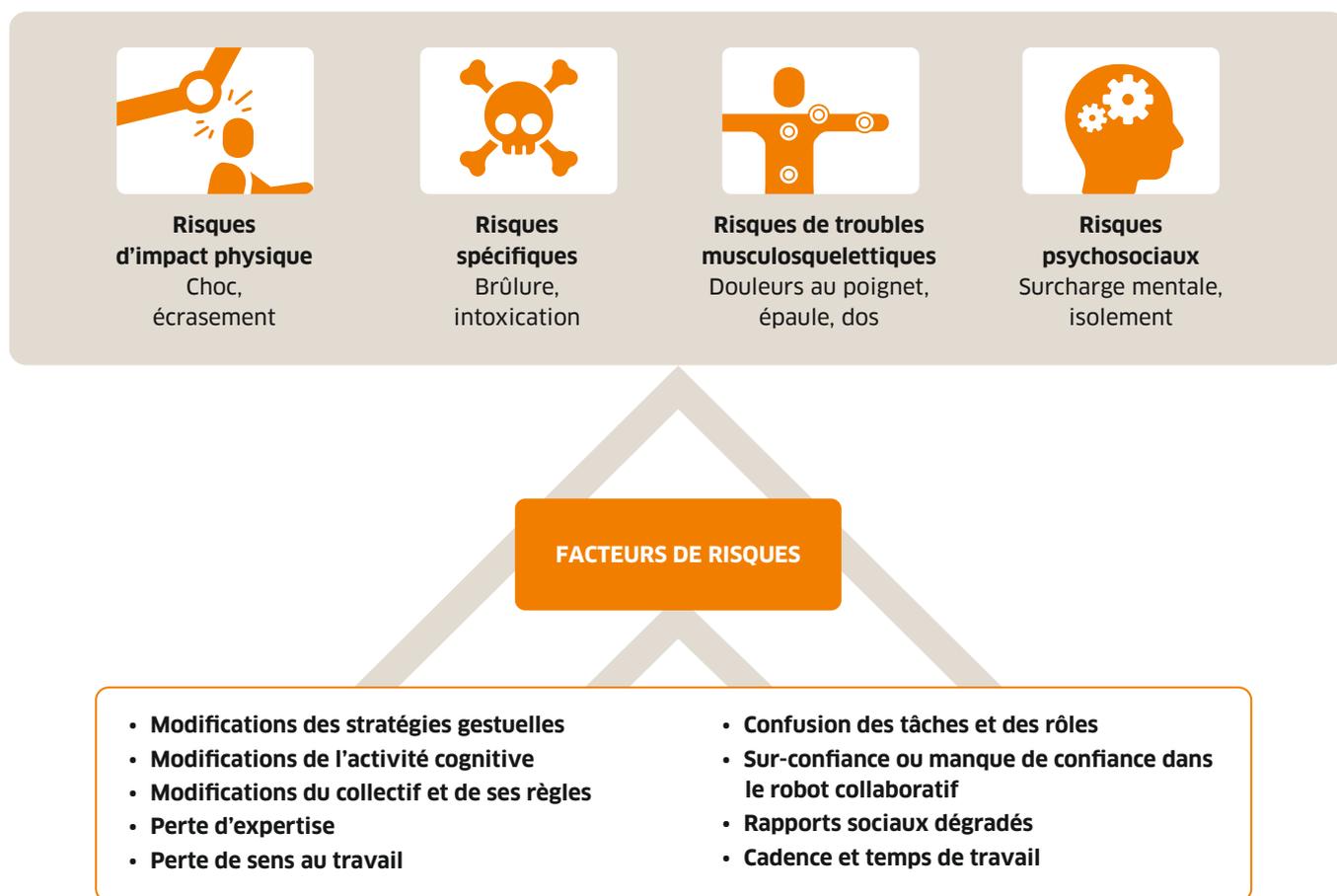
La robotique collaborative implique une proximité entre l'humain et le robot qui s'accompagne d'une augmentation des interactions physiques et cognitives par rapport à un robot classique, « en cage ». Ces risques, ainsi que les facteurs de risques associés, sont présentés ci-dessous et synthétisés dans la Figure 2.

Risques au niveau individuel

→ Risques liés à la machine

Le mouvement des axes d'un robot est généralement considéré comme complexe et imprévisible. Les robots collaboratifs sont conçus pour être plus légers et moins puissants. La vitesse de leurs mouvements et l'énergie transmise en cas de collision sont donc moins importantes par rapport à un robot classique. Pour autant, le risque mécanique demeure le facteur prédominant dans la plupart des applications robotiques, qu'elles soient collaboratives ou non. Ce phénomène dangereux se traduit, entre autres, par des risques d'écrasement, de coincement ou de choc. Bien que moins importants, les autres risques « machine », tels que





le bruit, les risques thermiques ou électriques, doivent également être pris en compte. Une attention particulière doit finalement être portée aux risques liés aux outils utilisés par le robot pour réaliser sa tâche et, plus globalement, aux risques liés aux procédés. Une liste non exhaustive de phénomènes dangereux liés aux applications robotiques peut être consultée dans l'annexe A de la norme NF EN ISO 10218-2 [1].

→ **Risques psychosociaux et risques d'accidents**

Quand un opérateur collabore, que ce soit avec un homme ou un robot, des activités de « coordination » ou encore « de synchronisation opératoire » sont nécessaires [2]. Il doit agencer des actions afin d'atteindre l'objectif qui lui est assigné de façon efficace. La coordination est toujours réalisée par rapport au contexte (la situation de travail, les exigences et contraintes de l'environnement de travail, le cadre organisationnel au sens large, par exemple).

La collaboration et la coordination entre plusieurs opérateurs nécessitent deux éléments :

- l'élaboration d'un référentiel opératif commun (ROC), défini comme une représentation fonctionnelle commune aux opérateurs, qui oriente et contrôle l'activité que ceux-ci réalisent col-

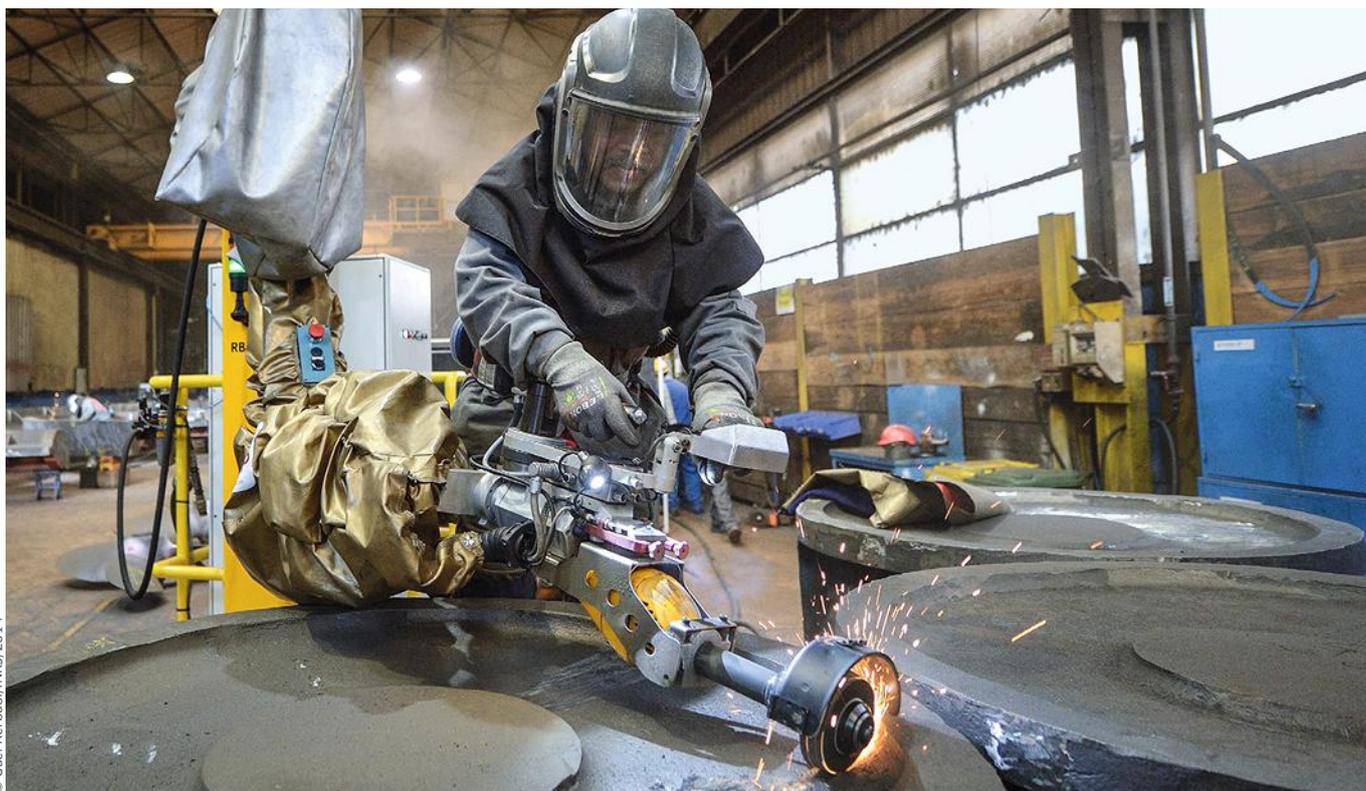
lectivement [3]. La construction de ce référentiel s'élabore, entre autres, par le biais des communications qui permettent aux opérateurs de se synchroniser sur le plan cognitif ;

- l'élaboration d'« une conscience réciproque des activités » (identification et connaissance des préoccupations et intentions de son binôme humain ou de l'ensemble des opérateurs coopérants) qui se forme et se remet à jour en continu au gré de l'évolution de la situation de travail et de la tâche [4]. Ceci implique un processus continu de surveillance « discrète » de l'activité des autres (contrôles mutuels).

À l'inverse, dans le cas de la collaboration avec des robots, le référentiel commun ne peut pas s'élaborer et la « conscience des activités » n'est plus « réciproque », en l'état actuel de l'évolution des technologies. L'opérateur va devoir élaborer « seul » une représentation opérationnelle pour interagir avec le robot. Cette représentation doit lui permettre de comprendre la situation et les événements, et servir d'ancrage à ses prises de décisions et actions. Les activités de coordination ou de régulation homme – robot vont alors reposer sur l'opérateur seul et non plus sur un collectif ou une équipe, ce qui peut constituer un facteur de risque psychosocial. Par ailleurs, la question de la fiabilité

↑ **FIGURE 2**
Synthèse des risques liés aux interactions homme – robot collaboratif et des facteurs de risques associés.





© Gaël Kerbaol/INRS/2014

Atelier de parachèvement en fonderie. Un cobot contribue à réduire la pénibilité des postes, notamment les risques de TMS.

de cette représentation se pose : si cette dernière est erronée, elle pourrait conduire à des facteurs de risques d'incidents, voire d'accidents.

Le collectif constitue également une ressource pour les opérateurs, notamment en termes d'entraide pour gérer les « conflits de règles » dans l'action ou les « situations incidentelles », ou encore pour partager ou élaborer/réélaborer des stratégies adaptées à la situation. En termes de santé, il participe donc à la préservation des ressources psychosociales qui, par ailleurs, sont des déterminants de TMS [5]. Si le collectif de travail peut être protecteur, il peut être également fragilisé lors de l'intégration de robots collaboratifs puisque les communications ne peuvent plus se faire de la même manière qu'entre opérateurs. Ainsi, une détérioration des rapports sociaux au sein des collectifs [5] peut apparaître et conduire à des facteurs de risques psychosociaux ou de troubles musculosquelettiques.

L'activité de l'opérateur se transforme nécessairement :

- d'une part, l'introduction d'un robot collaboratif, qui va prendre en charge une partie des opérations à réaliser, entraîne une modification des postes de travail mais aussi une modification de la répartition des tâches et des rôles de chacun. Certains opérateurs peuvent avoir des questionnements et des doutes sur ce qu'ils auront à réaliser seul ou collectivement, leurs nouvelles priorités individuelles et collectives, et comment les atteindre par rapport à la situation de travail sans robot collaboratif. Ainsi, en termes de santé,

l'intégration d'un robot collaboratif peut perturber l'organisation et conduire à des facteurs de risques psychosociaux tels qu'une perte de sens au travail et une confusion des tâches et des rôles ;

- d'autre part, l'opérateur devient superviseur de la situation de travail (par exemple, en vérifiant le bon fonctionnement du robot collaboratif) [6]. L'intégration d'une activité mentale supplémentaire entraîne un coût cognitif en raison de l'allocation et de la réallocation des ressources attentionnelles ; par conséquent, la charge mentale de l'opérateur peut s'en trouver augmentée. Le fait que le robot collaboratif prenne en charge des opérations à la place de l'opérateur peut être considéré positivement, surtout si ces dernières sont répétitives et sollicitantes. Néanmoins, la réduction de la réalisation d'une opération ou d'une tâche, qu'elle soit gestuelle ou cognitive, est connue pour restreindre le développement de l'expertise. Ainsi, quand le robot collaboratif prend en charge des opérations, les capacités de l'opérateur à effectuer une opération technique peuvent se détériorer. Au final, une éventuelle augmentation de la charge mentale de travail et une possible perte d'expertise constituent des facteurs de risques psychosociaux. La confiance accordée au robot collaboratif par les opérateurs repose en partie sur leur perception de la compétence de ce dernier. Cette confiance peut être fragile et, au moindre signe d'inadaptation ou de bogue, l'opérateur a tendance à ne plus utiliser le système et préfère réaliser la tâche

manuellement. S'il n'a pas le choix, il continuera d'utiliser le robot collaboratif avec des doutes et des craintes. À l'inverse, les études ont montré que lorsque les opérateurs font trop confiance au robot et au système automatisé en général, ils peuvent mettre plus de temps à détecter les dysfonctionnements de ce système [7]. De même, plus un opérateur fait confiance à l'automate, moins il va le surveiller, augmentant la probabilité que la représentation opérationnelle de l'opérateur ne soit pas juste ou « à jour » [8]. Par conséquent, la question de confiance est importante car elle peut constituer à la fois un facteur de risques psychosociaux quand il y a perte de confiance, et un facteur de risques d'incidents lorsqu'il y a sur-confiance.

→ **Risques de troubles musculosquelettiques (TMS)**

L'opérateur peut être amené à modifier ses stratégies gestuelles pour interagir avec les mouvements du robot collaboratif, ou encore à accélérer la réalisation des opérations à effectuer pour se synchroniser avec la cadence imposée par le robot. Ces modifications peuvent conduire à des sollicitations physiques importantes, voire délétères, et constituer des facteurs de risques de troubles musculosquelettiques (TMS). Lorsque pour des raisons de sécurité, la cadence du robot se trouve particulièrement ralentie, la question de la sous-charge de travail se pose. Au-delà du fait qu'elle constitue un facteur de risque psychosocial pour l'opérateur (ennui, inactivité, déconcentration, attente...), il est également possible que d'autres opérations manuelles soient ajoutées à la tâche de l'opérateur. Une réflexion doit alors être conduite pour s'assurer que ces dernières ne viendront pas dégrader la situation en créant des facteurs de risques de TMS supplémentaires.

Les solutions de prévention

Contexte réglementaire et normatif

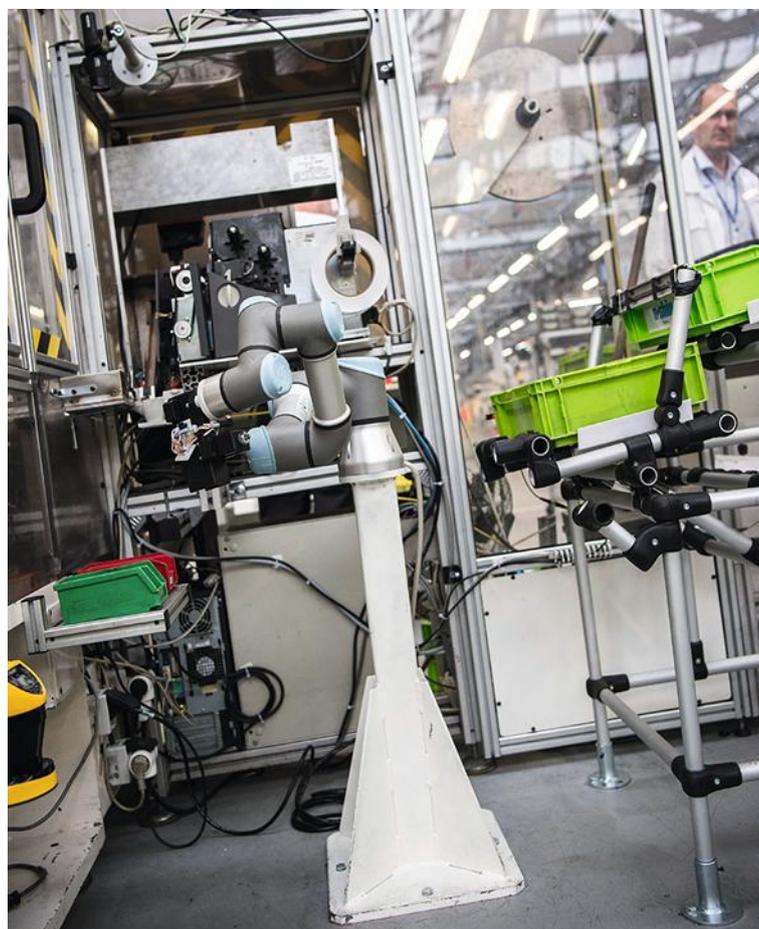
Les exigences de sécurité liées à la mise en œuvre des robots industriels sont couvertes essentiellement par les normes : NF EN ISO 10218 – Partie 1 [9] concernant la conception du robot ; et Partie 2 [1] concernant l'intégration du robot dans une application ; ainsi que le document technique ISO TS 15066 [10] apportant des compléments d'informations. Ces documents fournissent les informations nécessaires à la conception sûre de postes de travail, permettant de la collaboration ou du partage d'espace de travail entre l'homme et le robot pendant les phases de production. Il est à noter que ces normes NF EN ISO 10218 – Parties 1 et 2, qui datent de 2011, sont en cours de révision et qu'une nouvelle version devrait voir le jour en 2023. Cette révision apporte quelques évolutions, parmi lesquelles le fait que le partage d'espace de travail ne soit plus considéré comme un fonctionnement collaboratif,

mais plutôt comme un procédé industriel particulier : le « chargement/déchargement manuel ».

La directive « Machines » [11] demande l'application de principes ergonomiques pour réduire la gêne, la fatigue et les facteurs de risques physiques, en tenant compte de la variabilité des opérateurs et en leur donnant suffisamment d'espace au poste de travail pour effectuer les mouvements et adopter les postures nécessaires à l'exécution de leurs tâches. La directive souligne également que le rythme de l'opérateur ne doit pas être déterminé par celui de la machine. Afin de limiter les risques psychiques, la directive préconise que l'opérateur ne soit pas contraint d'observer la situation de travail pendant de longues périodes afin d'éviter un nombre élevé d'opérations mentales complexes à réaliser. Enfin, il est spécifié dans la directive que l'interface homme – machine doit être conçue de manière à être adaptée aux caractéristiques prévisibles de l'opérateur (auditives, visuelles et sensorielles).

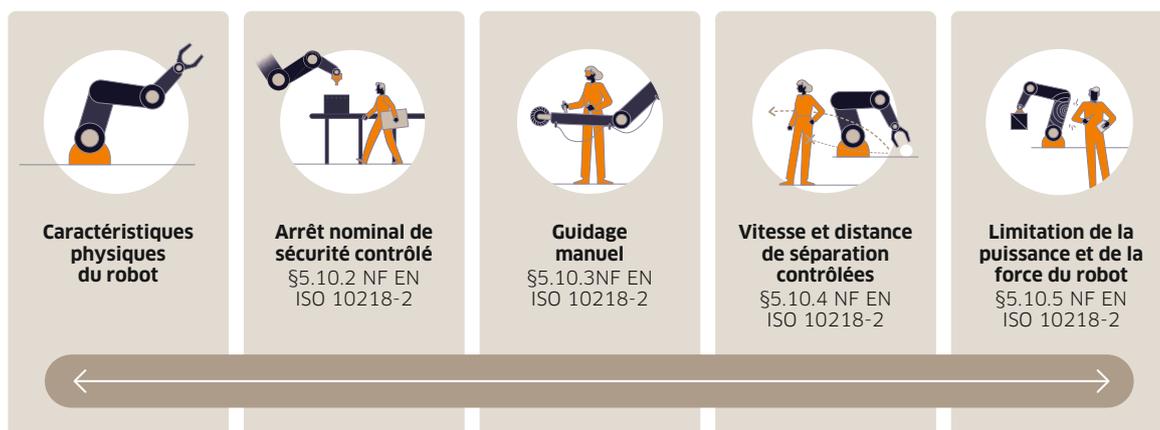
Solutions techniques

Les fabricants de robots mettent en œuvre certaines solutions de prévention qui permettent d'atténuer les effets liés à un éventuel contact homme – robot. Ces solutions embarquées dans



© Gaël Kerbaol/INRS/2017





→FIGURE 3
Solutions techniques pour la robotique collaborative.

les « robots collaboratifs » peuvent être complétées par des solutions mises en œuvre lors de l'intégration de l'application. En plus des solutions embarquées, la norme définit des éléments de sécurité qui peuvent être appliqués séparément, ou en association pour assurer la sécurité des opérateurs (Cf. Figure 3).

→ *Caractéristiques du robot*

Comme mentionné précédemment, les fabricants conçoivent les robots collaboratifs de façon à réduire les dommages qui peuvent être engendrés par un contact homme-robot. Cela consiste à restreindre la masse du robot afin de limiter les énergies induites lors d'une éventuelle collision, à supprimer les angles vifs et parties saillantes et, dans certains cas, à utiliser des matériaux souples qui permettent d'amortir le choc.

→ *Arrêt du robot*

(« *arrêt nominal de sécurité contrôlé* »)

Cette solution consiste à arrêter le robot lorsque l'opérateur pénètre dans l'espace de travail partagé à la fois par le robot et l'opérateur (espace de travail collaboratif), afin de prévenir tout risque de collision. Le robot peut ensuite reprendre son travail en mode automatique, dès que l'opérateur quitte cet espace. La plupart des fabricants de robots proposent des cartes ou des modules de sécurité permettant de mettre en œuvre ce type de collaboration, grâce à des fonctions de sécurité adaptées.

→ *Guidage manuel*

Cette solution est utilisée quand l'opérateur est en contact direct avec le robot. Les actions de l'utilisateur (effort, mouvement) sont mesurées et permettent de déplacer le robot. Ce type d'interaction peut être utilisé aussi bien pour les phases d'apprentissage et de réglage que pour les phases de production. Afin de réduire les risques associés à ce type d'opération, le robot est équipé d'un dispositif de validation à trois positions, associé à une

vitesse réduite de sécurité. Ainsi, dès que l'opérateur actionne/relâche le dispositif de validation, un arrêt de sécurité du robot est commandé. Ce type de solution est souvent utilisé pour mettre en œuvre des robots collaboratifs d'assistance physique [12].

→ *Distance entre opérateur et robot (« contrôle de vitesse et de distance de séparation »)*

Ce dispositif de sécurité fait en sorte que le robot se déplace à une vitesse réduite, tout en maintenant une distance de séparation définie avec l'opérateur. L'objectif est de prévenir toute collision, sans arrêter le robot tant que cela est possible. Toutefois, si la distance de séparation n'est plus respectée, un arrêt de sécurité est commandé. L'un des éléments clés de cette sécurité est l'utilisation de dispositifs capables de reconnaître un opérateur et de détecter ses mouvements en temps réel. Certaines technologies à base de caméras ou de capteurs capacitifs sont en cours de développement pour remplir cette tâche. Néanmoins, il n'existe pas sur le marché, à l'heure actuelle, de dispositif de sécurité capable de remplir cette tâche.

→ *Arrêt lors du contact homme-robot*

(« *limitation de puissance et de force du robot* »)

Cette solution implique que des dispositifs soient mis en œuvre lors de la conception du robot et/ou dans le système de commande pour limiter les forces de contact en cas de collision avec l'opérateur. Le robot doit être capable de détecter le dépassement des seuils de force et de puissance définis dans le document technique ISO TS 15066 [10] en cas de contact avec un opérateur et d'arrêter son mouvement de manière sûre. Ces dernières années, le marché a vu apparaître plusieurs robots capables de mettre en œuvre cet élément de sécurité. Ces robots sont souvent appelés *Power and Force Limited Robot (PFLR)* ou simplement « cobot ». Il faut noter que, contrairement aux autres éléments de sécurité, celui-ci ne protège pas de tous les risques liés aux collisions, mais ne peut être utilisé

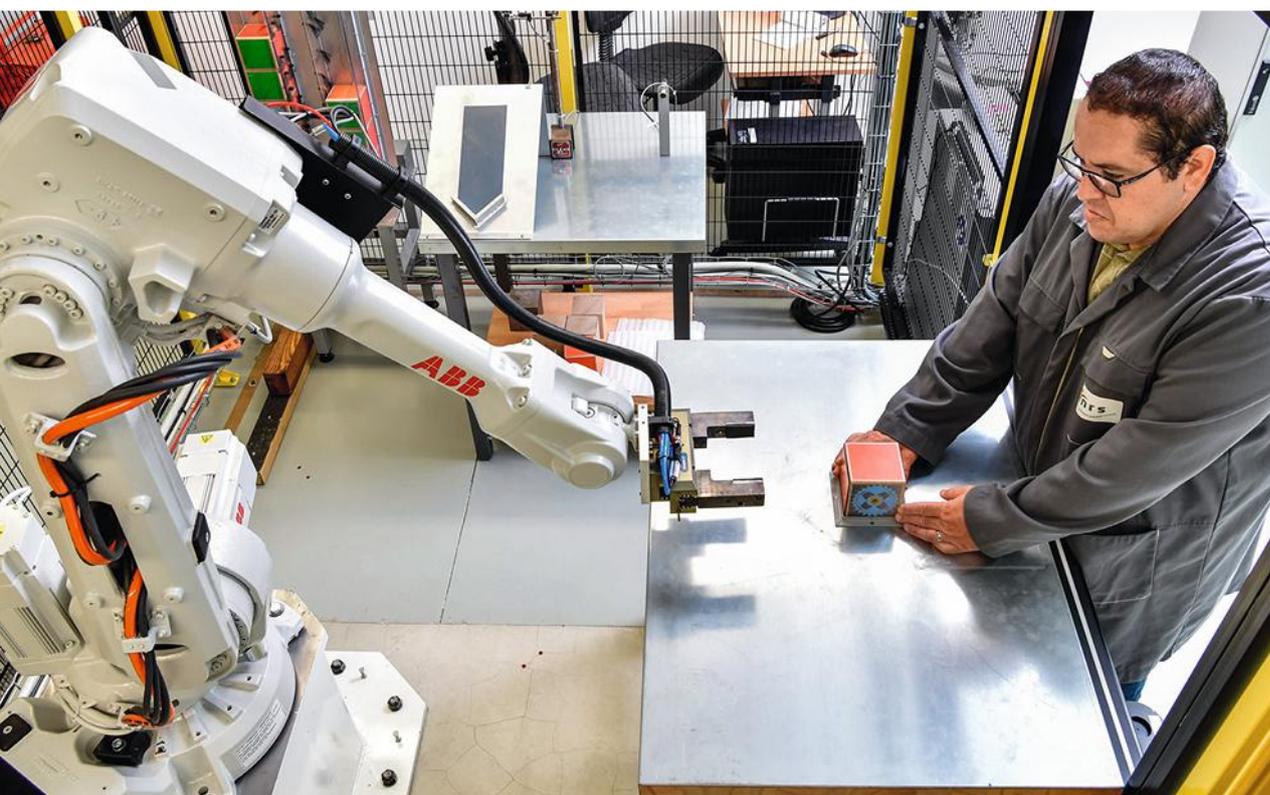
uniquement pour les risques d'impact, d'écrasement et de pincement. Une attention particulière devra donc être portée quant à son utilisation, il faudra s'assurer que cette solution soit bien adaptée aux risques identifiés lors de l'analyse des risques.

Solutions collectives et organisationnelles

Comme pour tout changement en entreprises, la préconisation qui consiste à impliquer le plus en amont possible les futurs utilisateurs, doit s'appliquer. Ainsi, au cours de l'analyse du besoin, il peut s'agir par exemple de faire participer les futurs utilisateurs à la réflexion sur l'identification et la description des tâches qui pourraient bénéficier de la robotique collaborative. Ensuite, il s'agit de penser le changement en termes de répartition des tâches entre le système robotisé et les opérateurs ainsi que leur articulation des tâches de chacun. De même, les modifications en termes d'organisation, de travail collectif ou de collectif de travail peuvent être anticipées et discutées (fixer les priorités de chacun dans la nouvelle situation de travail, préserver les marges de manœuvre de l'opérateur et du collectif dans la collaboration, ou encore, veiller à ce que les éléments relatifs au soutien social soient préservés). Par ailleurs, l'idée d'impliquer les opérateurs le plus en amont possible leur permet également de se forger une représentation adéquate du robot collaboratif, tant du point de vue des raisons de son déploiement, de ses fonctions et fonctionnalités, que sur ses avantages (suppression des tâches répétitives sans valeur ajoutée) et

ses limites. Cette phase permet aux futurs opérateurs qui vont collaborer avec le système robotisé de mieux appréhender le sens des différentes transformations de leur activité, et de leur environnement humain et technologique, ainsi que de préserver le sens de leur travail. Ainsi, les éventuels points bloquants (crainte de travailler avec une machine, isolement par rapport à un collectif, rejet de la technologie...) peuvent être identifiés en amont et appréhendés pour être discutés avec le collectif de travail et les encadrants pour élaborer des solutions (par exemple une formation et une période d'habituance peuvent être mises en place pour réduire les craintes des opérateurs à travailler avec une machine, recréer ou repenser les espaces de travail collectif pour éviter l'isolement, éviter le rejet de la technologie en s'assurant que les interactions avec le robot sont faciles, compréhensibles ou encore ne demandent pas trop d'efforts supplémentaires).

Partant du principe que lors d'opérations manuelles, des tâches de type « supervision/surveillance » du système robotisé vont émerger, il est important de les anticiper et de former les opérateurs. Il s'agit donc à la fois de les informer sur leurs nouvelles tâches et leur fournir les connaissances nécessaires pour les réaliser, notamment *via* une formation à l'utilisation du robot collaboratif, ou encore aux opérations de maintenance de premier niveau (procédure formalisée sur un support écrit et illustré). Ensuite, il est essentiel de faire interagir les opérateurs avec le robot collaboratif dans la situation



© Serge Morillon/INRS/2018

Poste de contrôle qualité sur une cellule collaborative au sein du département Ingénierie des équipements de travail (INRS).

de travail, avant sa mise en production. Cette phase doit permettre aux opérateurs de s'habituer progressivement et de s'adapter au changement, mais aussi de construire des repères pour effectuer leur tâche. L'idée est d'accompagner les opérateurs dans la construction d'une utilisation spécifique à la situation de travail, pour que ces derniers s'approprient la nouvelle technologie en contexte réel d'activité. Alors seulement, le robot collaboratif peut être intégré à l'activité de l'opérateur.

Une fois la situation de travail intégrant le système robotisé déployée, il est nécessaire de suivre son évolution sur le long terme. Ce suivi permet de surveiller l'évolution de la qualité de l'interaction homme-robot, en évaluant ses impacts physiques et psychosociaux dans la durée. En effet, il est avéré que lors de l'introduction de nouveaux systèmes, des facteurs de risques nouveaux peuvent émerger non seulement dès le début du déploiement, mais aussi sur le moyen, voire sur le long terme [13]. Ce suivi peut prendre la forme d'un retour d'expérience structuré, ou encore de points réguliers avec une équipe référente pluridisciplinaire, qui serait idéalement constituée d'un responsable, d'un préventeur, de la médecine du travail, d'opérateurs... Si des problématiques sont identifiées lors de ce suivi, des modifications de conception peuvent s'avérer nécessaires et il faut alors remettre en place l'approche de réduction de risques décrite ici.

Conclusion

La robotique collaborative implique une situation de travail où la proximité entre l'opérateur et

le robot conduit à une augmentation de risques déjà existants ou à une apparition de nouveaux risques qui étaient partiellement couverts par des protecteurs physiques. Les phénomènes dangereux auxquels l'opérateur est exposé sont multiples et de natures différentes ; ils peuvent être d'ordre mécanique, liés au procédé ou encore générés par le non-respect des principes ergonomiques.

En termes de prévention des risques, une approche pluridisciplinaire, associant notamment l'ingénierie de sécurité des machines et l'ergonomie, est donc cruciale. En effet, cette pluridisciplinarité permet de couvrir l'ensemble des risques et des solutions, que ce soit sur les aspects liés aux sciences humaines ou ceux plus techniques. Pour cela, mais aussi pour s'assurer de la faisabilité du projet, des échanges entre ces deux disciplines sont indispensables dès les premières étapes d'« analyse du besoin » (spécifications des besoins et identifications des interactions envisagées) et « d'analyse des risques » (Cf. Figure 1). Ils doivent se poursuivre tout au long du projet, ainsi que lors du suivi sur le long terme.

Pour le choix et la mise en œuvre des solutions de prévention, l'intégrateur pourra s'appuyer sur des normes (Cf. § « Contexte réglementaire et normatif »), sur la directive machine ou sur les éléments cités dans cet article. ●

1. Du point de vue de la prévention des risques, la « flexibilité » recouvre de nombreux aspects d'organisation, et n'est pas limitée à une seule vision idéologique du travail ou de la production.
Voir article p. 20 du présent dossier.

BIBLIOGRAPHIE

[1] **NORME NF EN ISO 10218-2** – Exigences de sécurité pour les robots industriels. Robots et dispositifs robotiques. Partie 2 : Système robot et intégration. Afnor, 2011, 79 p. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[2] **BARTHE B., QUEINEC Y.** – Terminologie et perspectives d'analyse du travail collectif en ergonomie. *L'année psychologique*, 1999, 99, pp. 663-686.

[3] **DE TERSSAC G., CHABAUD C.** – Référentiel opératif commun. In : LEPLAT J., DE TERSSAC G. (Éd.s) – *Les facteurs humains de la fiabilité*. Marseille, Octarès, pp. 111-119.

[4] **SCHMIDT K.** – The problem with « awareness » : introductory remarks on awareness in CSCW. *Computer supported cooperative work*, 2002, 11, pp. 285-298.

[5] **CAROLY S.** – Activité collective et réévaluation des règles comme ressources pour la santé psychique : le cas de la Police nationale. *Le travail humain*, 2011, 74 (4), pp. 365-389.

[6] **BRUN L., WIOLAND L.** – Prevention of occupational risks related to the Human-robot collaboration. In : AHAM T. ET AL. (eds) – *Human Interaction, emerging technologies and future applications III*. IHMET 2020. Advances in intelligent systems and computing. Springer, Cham, 2021, vol. 1253.

[7] **MUIR B. M., MORAY N.** – Trust in automation. Part II. Experimental studies of trust and human intervention in a process control simulation. *Ergonomics*, 1996, 39 (3), pp. 429-460.

[8] **PARASURAMAM R., SHERIDAN T.B., WICKENS C.D.** – Situation awareness, mental workload, and trust in automation: viable, empirically supported cognitive engineering constructs. *Journal of cognitive engineering and decision making*, 2008, 2 (2), pp. 140-160.

[9] **NORME NF EN ISO 10218-1** – Exigences de sécurité pour les robots industriels. Robots et dispositifs robotiques. Partie 1 : Robots. Afnor, 2011, 45 p. Accessible sur :

www.boutique-afnor.org (site payant).

[10] **NORME ISO TS 15066** – Robots and robotic devices. Safety requirements for industrial robots. Collaborative operation. Afnor, 2016, 33 p. Accessible sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

[11] **DIRECTIVE n° 2006/42/CE** du Parlement européen et du Conseil du 17 mai 2006 relative aux machines et modifiant la directive n° 95/16/CE (refonte). *Journal officiel de l'Union européenne*, 9 juin 2006, n° L 157, pp. 24-86. Accessible sur : <https://eur-lex.europa.eu>.

[12] **DOSSIER WEB INRS** – Robots collaboratifs. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/robots-collaboratifs/de-quoi-parle-t-on.html>.

[13] **GOVAERE V.** – La préparation de commandes en logistique : mutations technologiques et évolutions des risques professionnels. *Hygiène & sécurité du travail – Cahiers de notes documentaires*, 2009, 214, ND 2302, pp. 3-13.

COLLABORATION HOMME – ROBOT SUR UNE CHAÎNE DE PRODUCTION : ÉTUDE DE CAS DANS LE SECTEUR DE L'AGROALIMENTAIRE

Classiquement, les robots collaboratifs sont décrits comme effectuant les tâches répétitives ou pénibles, tandis que les opérateurs réalisent des tâches à haute valeur ajoutée. Les entreprises appréhendent souvent les technologies de robotique collaborative comme des dispositifs d'assistance physique qu'ils déploient dans le cadre de la prévention des troubles musculosquelettiques (TMS)¹.

L'INRS a mené une étude dans une entreprise du secteur alimentaire ayant déployé des robots collaboratifs pour diminuer les facteurs de TMS.

L'objectif était d'identifier et de comprendre les conséquences de la collaboration homme – robot sur l'activité des opérateurs et de recueillir leurs ressentis.

LIËN
WIOLAND
INRS,
département
Homme
au travail

ALAIN
BALSIERE
Carsat
Rhône-Alpes

Contexte de troubles musculosquelettiques

Les troubles musculosquelettiques (TMS) sont de loin les maladies professionnelles reconnues comme les plus fréquentes depuis plus de vingt ans en France [1], mais aussi en Europe [2]. Ce sont des troubles multifactoriels à composante professionnelle. Les facteurs qui sont à l'origine des TMS sont biomécaniques et liés aux contraintes psychosociales et organisationnelles. À ces facteurs, il convient d'ajouter des facteurs individuels, comme l'avancée en âge ou certains antécédents médicaux, qui en favorisent la survenue.

Une démarche de prévention des TMS comprend classiquement plusieurs étapes, allant de la mobilisation de différentes fonctions de l'entreprise (préventeur, direction et encadrement, service de prévention et de santé au travail, opérateurs, etc.) jusqu'à l'évaluation des solutions et des actions déployées suite au diagnostic réalisé. La question de l'intérêt d'intégrer un robot collaboratif n'est donc pas la première qui se pose à l'entreprise, mais elle peut émerger au moment où les différentes solutions envisageables ont été explorées. L'entreprise peut alors faire le choix d'intégrer la solution de la robotique collaborative, après s'être assurée qu'elle corresponde aux besoins. Cette technologie constitue un changement important de paradigme ; l'opérateur se trouvant à collaborer avec un robot collaboratif dans un contexte de proximité physique (sans être séparés par des barrières).

Cette nouvelle configuration suscite des interrogations en termes de santé et sécurité (Cf. article précédent dans ce dossier, p. 30²).

Objectifs de l'étude de cas

Dans le cadre de sa mission de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, l'INRS a mené une étude dans une entreprise ayant déployé des robots collaboratifs pour diminuer les facteurs de risques de TMS. Cette étude avait pour objectif de mieux comprendre la collaboration homme – robot et d'en identifier l'impact et les conséquences sur l'activité de l'opérateur et son ressenti. Elle s'est déroulée sur une chaîne de production dans le secteur de l'agroalimentaire.

Contexte de l'étude

Une étude ergonomique a été réalisée auprès d'une entreprise agroalimentaire qui a intégré, depuis un peu plus d'une année, des robots collaboratifs sur deux lignes d'emballage de produits agroalimentaires en fin de chaîne de production. La collaboration homme – robot y est indirecte : les opérateurs travaillent avec les robots collaboratifs sur le même objet de manière séquentielle et dans le même espace de travail. Ces deux lignes présentent des différences dans la nature des produits qui y sont acheminés. Par ailleurs, la première ligne de production comporte un seul robot collaboratif, alors que la seconde en comporte deux.



CLASSES D'ACTIVITÉ	CATÉGORIES	DÉFINITIONS
Les activités physiques	Préparation des emballages	Réapprovisionnement des distributeurs de cartons, gestion des étiquettes d'identification des produits (impression, collage...).
	Préparation des cartons	Déplier et poser les cartons sur le socle dédié.
	Régulation de la production et mise en cartons	Opérations manuelles pour réguler le flux des étuis en amont et en aval de l'étuyeuse (ajouter ou retirer des produits à l'entrée de l'étuyeuse, enlever les étuis qui s'accumulent...).
		En situation d'activité sans robot, les opérations manuelles de « mise en cartons » des étuis sont intégrées à cette catégorie.
	Régulation du robot	Préparation et remplissage des cartons en parallèle des robots.
	Évacuation	Dépose des cartons en fin de ligne sur un chariot, puis les filmer et les stocker dans la pièce dédiée.
Les activités de supervision	Surveillance du robot	Prises d'informations visuelles sur le robot pour évaluer si tout se passe comme prévu.
	Surveillance du flux de production	Prises d'informations visuelles sur la ligne de production pour évaluer si tout se passe comme prévu.
Les activités liées à la gestion des incidents	Incidents robots	Gestion des dysfonctionnements des robots et de leurs effets (remettre correctement les étuis que le robot vient de placer dans le carton).
	Incidents production	Gestion d'un incident de production (ouvrir les portes de l'étuyeuse pour évacuer des étuis abîmés qui bloquent la machine).
Les « autres » activités	Maintenance	Interactions avec l'équipe de maintenance autour d'un problème rencontré avec le robot, que les opérateurs ne parviennent pas à gérer seuls.
	Aide	Apporter de l'aide ou recevoir de l'aide de la part des collègues.
	Entretien	Opérations de nettoyage du poste de travail (balayer, évacuer les déchets...).
	Contrôle qualité	Effectuer des contrôles qualité des produits (passage des produits aux détecteurs de métaux, vérifier si la marchandise répond bien aux exigences attendues...).

→ TABLEAU 1
Catégories utilisées pour le codage de l'activité.

Selon l'objectif de production à atteindre, un ou deux opérateurs sont présents sur chaque ligne.

Description de la tâche et répartition des opérations entre les opérateurs et les robots collaboratifs

Les produits, fabriqués en amont de la chaîne, sont acheminés sur un convoyeur à tapis motorisé pour être conditionnés par des étuyuses (machines automatiques permettant de donner forme à des étuis dans lesquels les produits sont emballés). À la sortie de cette machine, les opérateurs doivent prendre un carton stocké sur un distributeur, le déposer sur un support, puis attraper les étuis qui parviennent par le convoyeur pour les ranger deux par deux dans le carton. Le poids de ces étuis peut aller de 150 g à 1 kg selon les produits emballés. Une fois le carton rempli, l'opérateur le fait glisser sur un convoyeur à rouleaux vers une scotcheuse automatique, puis vers un espace de stockage. Ces opérations, qui doivent être effectuées à une cadence plus ou moins soutenue selon les contraintes de production, ont été identifiées par l'entreprise comme facteur de risque de TMS, car elles sollicitent de façon répétitive, et durablement, les membres supérieurs. Ainsi, les robots collaboratifs ont été intégrés sur les deux chaînes pour prendre en charge ces opérations (« prépa-

ration de cartons et mise en cartons des étuis»). Après intégration, les opérateurs ont désormais pour tâches de surveiller le bon déroulement de l'ensemble de la chaîne de production, d'effectuer des contrôles qualité des produits, d'approvisionner les distributeurs de cartons, de superviser les opérations des robots et d'évacuer manuellement les cartons remplis d'étuis.

Méthode d'investigation déployée

La méthode utilisée pour mener cette étude comprend trois étapes :

- Une phase de pré-observation « papier-crayon » de l'activité de quatre opérateurs travaillant avec les robots collaboratifs. Cette phase a permis de comprendre les tâches effectuées, leur enchaînement, ainsi que les interactions entre les opérateurs et le robot. Les opérations réalisées par les opérateurs ont ensuite été formalisées pour définir un protocole de codage de leur activité (Cf. Tableau 1).
- Une phase d'observation et de codage de l'activité :
 - sur la ligne n° 1 : l'activité de l'opérateur « sans robot » a été observée durant quatre heures et codée en temps réel avec le logiciel Captiv³. Cette démarche a ensuite été déployée pour la même activité (même opérateur et même

produit), réalisée «avec le robot collaboratif» sur une durée de trois heures ;

- sur la ligne n° 2 : l'activité de deux opérateurs qui ont travaillé en alternance sur le poste «avec le robot collaboratif» a été observée et codée en temps réel, avec le même protocole de codage sur trois jours, soient dix heures au total (les périodes de pause ainsi que les aléas ayant été écartés des données analysées car sans lien avec l'objectif de l'étude).

- Des entretiens ont été menés avec les huit opérateurs de l'entreprise qui travaillent avec les robots collaboratifs. Les opérations effectuées par les opérateurs ont été formalisées en treize catégories, regroupées en quatre classes :

- une première classe regroupant les activités à dominante physique, qui comprend cinq catégories, allant de la gestion des emballages aux actions de régulation de la production ou encore, l'évacuation des cartons en fin de chaîne de production ;

- une classe pour les activités de supervision ; à savoir, les prises d'informations visuelles sur le robot collaboratif ou la ligne de production pour évaluer si la situation est conforme à ce qui est attendu ;

- une classe concernant les activités de gestion d'incidents, qui font généralement suite

à des activités de supervision et qui consistaient en des actions correctives pour revenir à une situation normale ;

- une dernière classe pour les «autres» activités, telles que les opérations de maintenance, d'entretien, de contrôle qualité et d'entraide.

L'ensemble des classes et catégories est détaillé dans le *Tableau 1*.

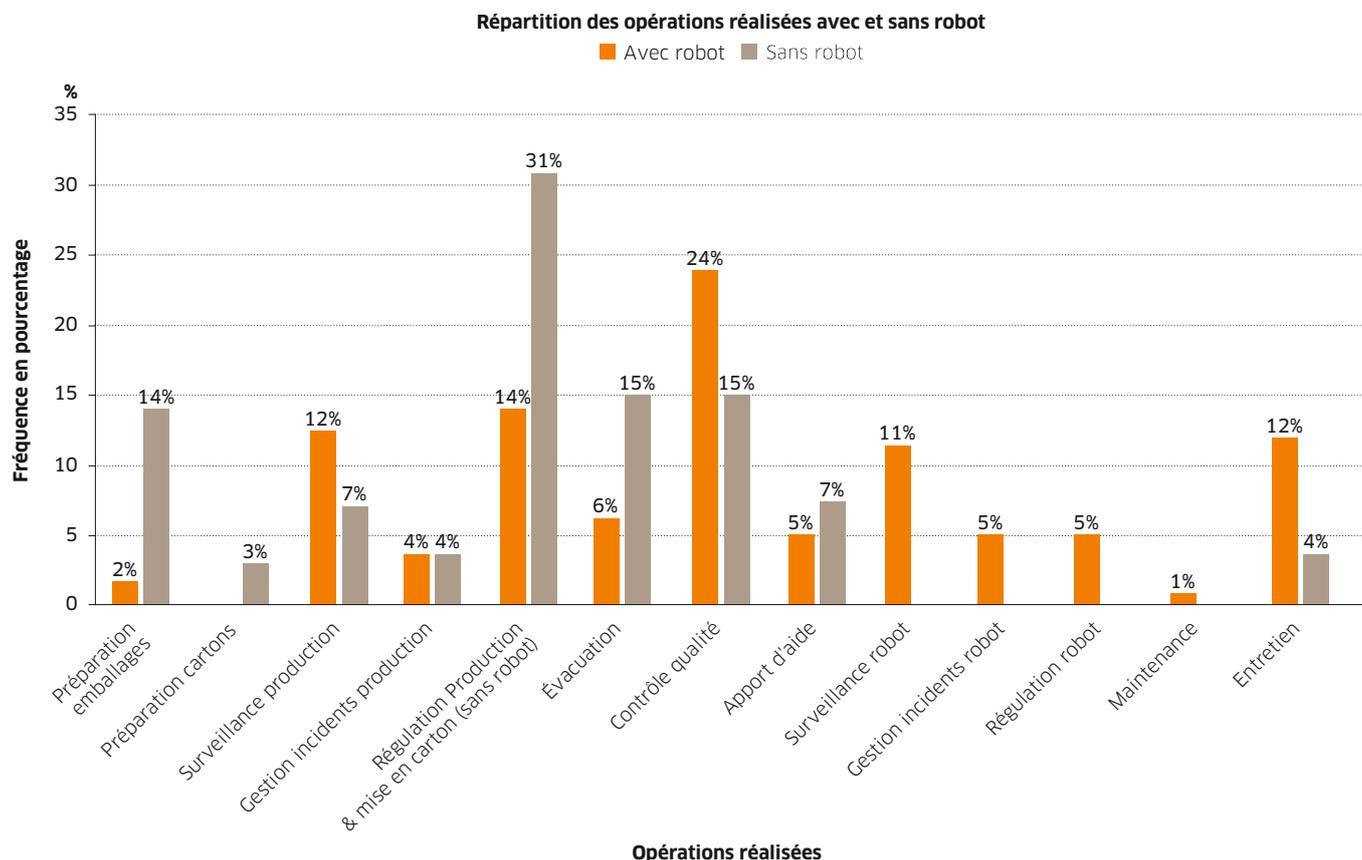
Résultats des observations

Une partie des résultats concernant les modifications de l'activité et le ressenti des opérateurs suite à l'introduction de la robotique collaborative est synthétisée ci-après. Les fluctuations de production sur les opérations de préparation d'emballages et d'évacuation sont indépendantes du fait d'introduire ou non un robot. Leur impact sur les activités n'est donc pas développé dans le cadre de cet article. Les éclairages qui sont apportés découlent des verbalisations concomitantes à l'activité, recueillies au cours des observations.

→ Résultats issus de la première ligne de production

L'activité du même opérateur, concernant le même produit à emballer, a été comparée en termes de fréquence d'opérations réalisées (leurs durées étant identiques) dans deux configurations de travail différentes ; la première «sans robot collaboratif», la seconde «avec robot» (Cf. *Figure 1*).

↓ **FIGURE 1**
Répartition des opérations réalisées sans robot et avec le robot collaboratif.



→ **TABLEAU 2**
Répartition des opérations réalisées avec les deux robots collaboratifs.

OPÉRATIONS	POURCENTAGE
Surveillance du robot	21 %
Surveillance de production	14 %
Régulation de production	13 %
Gestion des incidents de production	9 %
Évacuation	9 %
Gestion des incidents robot	8 %
Contrôle qualité	6 %
Régulation du robot	6 %
Préparation des emballages	5 %
Préparation des cartons	3 %
Entretien	3 %
Apport d'aide	1 %
Maintenance	1 %

Les principaux résultats montrent que :

- En situation de travail avec le robot collaboratif, les opérations manuelles sont moins fréquentes, comparativement à la situation sans le robot, pour les activités de « préparations de cartons » (aucune avec le robot et 4 % sans le robot) et de « régulations de la production/mise en cartons » (15 % avec le robot, 44 % sans le robot). Ce résultat était attendu, puisque le robot prend en charge une partie de ces opérations.
- En revanche, les opérations de « contrôle qualité des produits » ont été réalisées plus fréquemment lorsque l'opérateur travaille avec le robot (24 %) que sans (15 %). La même tendance a été observée concernant les activités de « surveillance de la production » (12 % avec le robot et 7 % sans le robot). Ces résultats mettent en évidence que le temps libéré par la prise en charge de certaines opérations par le robot permet aux opérateurs de se concentrer davantage sur d'autres opérations. Ainsi, les « contrôles qualité » plus nombreux permettent de réaliser un meilleur suivi des produits arrivant de l'amont de la chaîne. En effet, certains défauts ont pu être détectés plus tôt et ont permis aux opérateurs en amont de la chaîne de production de les corriger rapidement et d'éviter ainsi de détruire certains produits ou de relancer un cycle de production. De même, les opérations de « surveillance de la production » permettent d'anticiper et d'agir en amont pour éviter certains incidents et maintenir la fluidité de production. Le même constat a été posé pour les opérations « d'entretien » ; elles sont trois fois plus fréquentes lorsque l'opérateur travaille avec le robot (12 %) que sans (4 %). Elles permettent de maintenir l'ensemble du poste de travail propre et non encombré, réduisant ainsi des difficultés de circulation ou des risques de chutes liés aux déchets (cartons, étuis abîmés, étiquettes, plastiques au sol...).

- De nouvelles activités de supervision liées à la présence du robot collaboratif sont également apparues :
 - une surveillance du robot (11 % des opérations effectuées), correspondant à une succession d'opérations cognitives allant de la prise d'information visuelle, à la comparaison de certains critères de la situation en cours, à la réalisation de diagnostics, jusqu'à la prise de décision d'agir ou non ;
 - la gestion des incidents liés au robot (5 %) met en lumière que les opérateurs diagnostiquent la cause des incidents et déploient une solution adaptée ;
 - la régulation des opérations prises en charge par le robot (5 %) montrent que les opérateurs sont contraints de compenser la production du robot collaboratif qui, de par sa vitesse réduite (pour des raisons de sécurité), ne parvient pas à atteindre les objectifs de production.

→ Résultats de la seconde ligne de production

Sur cette ligne, les résultats sont issus d'observations et codages de l'activité de deux opérateurs qui ont alterné sur le poste dans la même configuration de travail, à savoir avec deux robots collaboratifs (Cf. Tableau 2).

Les principaux résultats sont concordants avec ceux de la ligne n° 1 :

- réduction de certaines opérations manuelles telles que les activités de « préparations de cartons » (3 %) et les mises en cartons des étuis (absence) ;
- apparition des nouvelles activités de supervision liées à la présence du robot collaboratif ; « surveillance du robot » (21 %), « gestion des incidents liés au robot » (8 %) et « régulation des opérations prises en charge par le robot » (6 %).

Les résultats ont aussi mis en évidence que l'opération la plus fréquemment réalisée est la surveillance du robot (21 %). Ce résultat peut s'expliquer par la présence de deux robots plutôt qu'un seul, mais il est également à mettre en lien avec la fiabilité de la ligne de production. En effet, des incidents fréquents ont été observés sur l'étuyeuse en amont des robots. Pour donner un ordre de grandeur, il apparaît que les opérations de « gestion des incidents de production » ont été deux fois plus fréquentes sur la seconde ligne de production (9 %) que sur la première ligne en configuration « avec robot » (4 %). Selon les cas, soit la machine doit être arrêtée pour gérer l'incident, soit les étuis qui en sortent ne sont pas optimaux et les robots ne parviennent plus à les prendre ou à les ranger correctement dans les cartons. Des situations de cumuls d'incidents, que les opérateurs ont gérés sous pression puisque la partie amont de la chaîne de production n'était pas à l'arrêt, ont également été observées. Compte tenu de ce contexte, les opérateurs ont expliqué devoir davantage

les surveiller pour anticiper et éviter d'éventuels « incidents robot ».

Les activités de « contrôle qualité » (6 %) et « d'entretien » (3 %) ne sont pas des opérations particulièrement fréquentes sur la seconde ligne. Toutefois, elles apparaissent quatre fois moins souvent que sur la première ligne, en configuration « avec robot collaboratif ». Ainsi, sur cette ligne, la présence des robots collaboratifs n'a pas permis aux opérateurs de se libérer autant de temps au bénéfice d'autres opérations que sur la première ligne.

→ Résultats issus des entretiens

Huit entretiens semi-directifs sur le ressenti des opérateurs vis-à-vis de la robotique collaborative ont été réalisés avec des salariés interagissant avec les robots collaboratifs. Ils ont été menés dans une pièce calme, propice à la discussion, et à l'écart des autres salariés de l'entreprise. Avec l'accord des salariés, ils ont été enregistrés et retranscrits dans leur intégralité. Les verbatim ont ensuite été classés selon trois principales thématiques : l'impact de l'intégration des robots collectifs sur l'activité des opérateurs, leurs conditions de travail, et leur ressenti. Les résultats sont les suivants :

- cinq opérateurs sur les huit interrogés ont considéré qu'apprendre à travailler avec le robot collaboratif et comprendre son fonctionnement a été « simple ». Ils ont souligné que l'appropriation de cette technologie a été rapide. Après une année d'utilisation, les trois quarts pensent avoir une bonne compréhension des opérations effectuées par les robots, ainsi que de leurs trajectoires. Ils considèrent qu'ils savent comment se positionner par rapport à eux et les distances à maintenir. Au final, ils se sentent à l'aise dans la situation de travail, ont confiance et n'ont pas peur du contact avec les robots ;
- la majeure partie d'entre eux (six sur huit) a explicité que leur activité est devenue moins physique, avec une diminution des gestes répétitifs et une disparition de certaines opérations. Trois ont signalé qu'ils sont moins fatigués et ressentent moins de douleurs (au niveau du dos, des membres inférieurs et supérieurs), voire que certaines ont disparu ;
- la moitié des opérateurs a signalé que leur activité s'est enrichie grâce aux tâches de supervision. Cinq ont signalé une diminution de leur nervosité et tension ; ils ont dit être moins « stressés ». Deux d'entre eux ont parlé d'amélioration globale des conditions de travail ;
- une grande majorité (six sur huit) considère que, grâce à la prise en charge de certaines opérations par les robots collaboratifs, ils ont davantage de temps. Ainsi, ils parviennent à mieux s'organiser, à mieux anticiper (par exemple en préparant à l'avance des cartons), à mieux réguler le flux



© Patrick Delapierre pour l'INRS/2017

de production et à davantage aider leurs collègues (notamment dans la régulation des incidents). En termes de cadence, la moitié a précisé qu'elle est restée identique, voire un peu plus lente qu'avant l'intégration des robots.

Au final, la majorité des opérateurs (six sur huit) pensent que l'intégration de la robotique collaborative avait amélioré leur poste et leurs conditions de travail. Ils disent avoir le sentiment d'avoir gagné en autonomie dans leur activité et se sentent valorisés de travailler au contact des nouvelles technologies.

Des réserves ont cependant été exprimées ; deux opérateurs ont signalé être gênés dans leur activité par la vitesse réduite des robots, qu'ils considéraient comme ralentissant le flux de production ; deux autres ont critiqué le fait que c'était à eux de s'adapter au robot et que l'interaction manquait de flexibilité, et la moitié des opérateurs a indiqué que le robot était venu remplacer un opérateur. Les incidents rapportés avec les robots étaient principalement des « bugs » qui, pour deux des opérateurs, sont « irritants ». Deux opérateurs ont rapporté des chocs dus au contact avec le robot collaboratif au niveau des membres supérieurs et de la tête. Les opérateurs ont formulé sous forme d'anecdotes que des opérateurs extérieurs, intervenant très rarement sur la ligne de production, ont également subi des chocs. Durant les observations, les auteurs ont identifié à plusieurs reprises des postures dynamiques d'évitement du bras du robot, effectuées par les opérateurs. De même, une situation qui a conduit à une

Entreprise de fabrication de plats préparés : des cobots installés sur les chaînes de production viennent en soutien des opérateurs, afin de limiter les gestes répétitifs et postures favorisant les risques de TMS.



compression, sans gravité, de la main d'un des opérateurs par le bras du robot collaboratif a été notée au cours de ces observations.

Discussion et conclusion

Cette étude met en évidence que l'intégration des robots collaboratifs a modifié l'activité physique et cognitive des opérateurs, qui semblent globalement satisfaits. L'entreprise a fait le choix d'intégrer cette technologie dans le but de réduire les facteurs de risques de TMS. De ce point de vue, certaines contraintes physiques semblent avoir diminué, puisqu'une partie des opérations répétitives sollicitant les membres supérieurs est prise en charge par les robots collaboratifs. Toutefois, d'autres opérations manuelles, sollicitant également les membres supérieurs, sont apparues. Ces résultats laissent donc supposer une diversification des gestes, mais le gain en termes de sollicitations biomécaniques reste à vérifier.

D'autre part, des tâches de supervision et de régulation sont venues enrichir l'activité des opérateurs. Ces activités cognitives sont en lien avec la notion de charge mentale, à savoir l'ensemble des ressources cognitives mobilisées par l'opérateur, qui lui permettent de répondre aux exigences de la tâche qu'il réalise [3]. Les opérateurs essaient d'adapter leur niveau de ressources cognitives sollicitées au niveau d'exigences de la tâche qu'ils perçoivent [4]. Ainsi, si les exigences deviennent trop élevées par rapport aux ressources cognitives, elles peuvent alors constituer un facteur de risque psychosocial. Or, même si les tâches de supervision et de régulation enrichissent l'activité des opérateurs, il est nécessaire de garder à l'esprit que ces dernières s'inscrivent dans un contexte de production. Ce contexte peut être amené à varier, et notamment à être plus contraignant sur certaines périodes (en particulier au moment des fêtes de fin d'année, dans le secteur agroalimentaire étudié), conduisant ainsi à une augmentation de la cadence de production. Si ce contexte se dégradait, par exemple avec un rythme de production plus élevé, asso-

cié à une augmentation des dysfonctionnements des machines qui a été observée, des questions liées à la surcharge mentale se poseraient. L'organisation de la production, ainsi que l'amélioration de la fiabilité des machines et du poste de travail, constituent des points de vigilance importants dans un contexte de prévention des TMS.

Concernant les contacts observés entre les opérateurs et les robots collaboratifs, ils sont acceptés par les opérateurs, qui se sentent responsables de leur occurrence. L'analyse des risques permet de les identifier, afin de définir les mesures de prévention adaptées (Cf. deux articles précédents³).

In fine, même si l'intégration d'un robot collaboratif peut être une solution parmi d'autres pour prévenir les TMS, il est avant tout nécessaire d'identifier le besoin réel auquel cette technologie peut répondre. Ensuite, il est indispensable de se questionner plus largement sur les transformations qu'elle va amener sur l'activité physique (réduction d'opérations, nouvelles opérations...) et cognitive des opérateurs, mais aussi sur le collectif et l'organisation.

De même, les risques mécaniques, ainsi que ceux liés aux procédés, doivent être identifiés pour être évités. Lorsqu'une telle technologie est intégrée au sein d'une ligne de production, une vérification et un suivi de la fiabilité des machines et autres éléments techniques en amont ou en aval sont nécessaires. Ainsi, une analyse des risques est indispensable à réaliser. Une fois intégré, un suivi structuré est à mettre en place pour s'assurer que l'interaction entre les opérateurs et les robots collaboratifs est de qualité et sans risque. Il serait alors intéressant de retourner dans cette entreprise, afin d'analyser les éventuelles évolutions sur la chaîne de production où les robots collaboratifs ont été intégrés. ●

1. Cet article aborde le cas d'une entreprise appréhendant la robotique collaborative sous l'angle d'un dispositif d'assistance physique à des fins de prévention des TMS. Deux des articles précédents l'abordent plus globalement comme un outil répondant à des besoins de flexibilité.

2. Voir : TILHAY D., BLAISE J.C. – Robotique collaborative : les enjeux en termes de prévention des risques professionnels ; et SGHAIER A., WIOLAND L. – Robots collaboratifs : de l'identification des risques aux solutions techniques et organisationnelles. Voir dans le présent dossier, pp. 20 et 30.

3. L'outil Captiv (sigle initial créé par l'INRS : Centrale d'acquisition de la pollution au travail informé par vidéo) a été développé pour l'analyse ergonomique des situations de travail. Voir : <https://www.teaergo.com/fr/captiv-solution-ergonomie-des-postes-de-travail/>.

BIBLIOGRAPHIE

[1] ASSURANCE MALADIE – RISQUES PROFESSIONNELS – L'essentiel 2018 – Santé et sécurité au travail. Accessible sur : https://www.risquesprofessionnels.ameli.fr/fileadmin/user_upload/document_PDF_a_telecharger/brochures/L'essentiel2018_WEB.pdf.

[2] ROQUELAURE Y. – *Musculoskeletal disorders and psychosocial factors at work*. Bruxelles, ETUI, 2018, Rapport 142.

[3] LEPLAT J. – Les facteurs déterminant la charge de travail. *Le travail humain*, 1977, 40 (2), pp. 195-202.

[4] MARTIN C., HOURLIER S., CEGARRA J. – La charge mentale de travail : un concept qui reste indispensable, l'exemple de l'aéronautique. *Le travail humain*, 2013, 76 (4), pp. 258-308.

Remerciements

Les auteurs remercient Laurie Brun, Olivier Morel et Virginie Govaere pour leur participation, ainsi que le personnel de l'entreprise interrogée dans le cadre de cette étude.

Participez à la recherche



Polyexpositions dans les fromageries : risques chimiques et biologiques

→ Prévention des polyexpositions dans les fromageries : étude des bioallergènes, des agents chimiques et biologiques

Votre entreprise...

- Appartient au secteur **des fromageries**, qu'elle soit industrielle ou en cave artisanale.

L'INRS a besoin de vous pour acquérir des données sur les expositions aux agents chimiques, biologiques et aux allergènes potentiellement présents dans l'atmosphère de travail des fromageries.

> Quels sont les objectifs de cette étude ?

La France est l'un des plus gros producteurs de fromages, avec plus de 500 établissements employant plus de 20 000 salariés. Ces derniers peuvent être exposés à des polluants biologiques et chimiques, de nature et de concentration encore mal connues. En particulier, les travailleurs de ce secteur peuvent souffrir de symptômes allergiques, principalement attribuables à des agents biologiques. Les objectifs de l'étude sont les suivants :

- étudier les polyexpositions biologiques et chimiques potentielles des salariés de ce secteur ;
- caractériser les allergènes présents dans l'atmosphère des lieux de travail et dans les produits manipulés, ainsi que le potentiel sensibilisant de l'environnement de travail ;
- étudier les moyens de prévention disponibles, notamment la ventilation, en vue de réduire l'exposition des travailleurs aux polluants et bioallergènes.

> Comment se déroulera l'étude ?

Les personnes en charge de l'étude rencontreront les entreprises souhaitant participer pour définir le cadre de la campagne de mesures, qui se déroulera sur trois journées et reposera sur des prélèvements atmosphériques réalisés en des lieux définis et sur des durées pouvant atteindre huit heures. Avec l'accord des salariés concernés, une partie de ces prélèvements atmosphériques sera réalisée pour évaluer des situations

d'exposition individuelles, en équipant ces personnels de capteurs ; les techniques utilisées sont prévues pour occasionner le minimum de perturbations de leurs activités. Des échantillons de fromages pourront également être collectés, avec l'accord de l'entreprise, afin d'établir un lien entre les composés présents dans les fromages et ceux retrouvés dans l'atmosphère. Ces éléments seront complétés par une étude du système de ventilation. Les échantillons recueillis seront analysés à l'INRS ou à l'Inrae (UMRF d'Aurillac)¹, en fonction du type de prélèvement. Un rapport de synthèse sera remis à l'entreprise. Une réunion de restitution pourra également être organisée, si l'entreprise et ses salariés le souhaitent.

1. Inrae : Institut national de recherche pour l'agriculture, l'alimentation et l'environnement.

UMRF : Unité mixte de recherche sur le fromage.



Vous souhaitez en savoir plus ?

Contactez Patricia Battais ou Sullivan Lechêne,
département Ingénierie des procédés
03 83 50 86 87 ou 03 83 50 21 41
patricia.battais@inrs.fr ou sullivan.lechene@inrs.fr
INRS, rue du Morvan, CS 60027,
54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex



Études & solutions

Notes techniques

Humidité de l'air exhalé :
quel impact sur la respirabilité
et l'efficacité des masques ?

P. 45

Ouvrages de l'eau potable
et de l'assainissement :
prévention du risque chimique
dans les espaces confinés

P. 56

Étude de cas

Violences externes en services
d'urgences hospitalières :
éclairage théorique et pratique
pour la prévention

P. 64

Bases de données

Portrait de l'exposition aux substances chimiques
visées par les mises à jour des valeurs limites
d'exposition professionnelle
réglementaires en 2021

P. 72

Note technique

HUMIDITÉ DE L'AIR EXHALÉ : QUEL IMPACT SUR LA RESPIRABILITÉ ET L'EFFICACITÉ DES MASQUES ?

Le port du masque, notamment dans les lieux clos, fait partie des gestes barrières à appliquer dans le cadre de la pandémie de Covid-19.

De nombreuses enquêtes font état de sensations d'inconfort, dues à la chaleur et à l'humidité au sein du masque, particulièrement lors d'un port prolongé.

Une étude, menée par l'INRS et dont les résultats sont présentés dans cet article, s'est intéressée à l'évolution dans le temps de la respirabilité et de l'efficacité des masques dans des conditions de travail classiques.

AUDREY
SANTANDREA,
SANDRINE
CHAZELET
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

Dans le contexte de pandémie de Covid-19, le port du masque est devenu une pratique courante sur le lieu de travail, afin de limiter les risques de propagation virale. Si l'Organisation mondiale de la santé (OMS) recommande de changer de masque lorsque celui-ci est humide ou que des sensations d'inconfort apparaissent, on considère qu'un masque chirurgical doit être changé au moins toutes les quatre heures, tandis que cette durée peut atteindre huit heures pour un masque de type FFP [1]. L'INRS s'est interrogé sur l'impact de l'humidité de l'air exhalé sur la perte de charge opposée par les masques, sachant qu'une perte de charge élevée peut conduire à des difficultés de respiration. Il s'agit au cours de ces travaux de vérifier si une utilisation prolongée induit une augmentation de cette perte de charge et, si oui, au bout de combien de temps, ainsi que de vérifier si l'humidité du masque diminue l'efficacité de protection. Une étude, conduite en 2010 par le Niosh¹ sur trois modèles de masques (deux pièces faciales filtrantes de type N95, dont une avec soupape expiratoire, et un masque chirurgical), a permis d'évaluer l'effet de l'humidité de l'air exhalé sur la résistance respiratoire des masques testés lors d'un port de quatre heures [2]. Les résultats démontrent que la résistance respiratoire ne varie pas de manière significative dans les conditions de test, c'est-à-dire pour un débit respiratoire moyen de 40 L.min⁻¹. Les masques testés étant de type N95 américain, certifiés selon le

référentiel Niosh 42C FR84: 2004 [3], les travaux réalisés par l'INRS ont complété ces données pour des masques certifiés selon les normes européennes. L'objectif était d'évaluer la résistance respiratoire induite par plusieurs masques de type chirurgical et FFP, lors d'un port allant jusqu'à quatre heures consécutives, ainsi que l'effet de l'humidité de l'air exhalé sur l'efficacité de protection des masques de type FFP.

Masques et protocole de test

Masques étudiés

Six modèles de masques de deux types, tous de taille unique, ont été sélectionnés pour cette étude :

- trois masques chirurgicaux à usage unique, certifiés selon EN 14683+AC (notés M1 à M3) (Cf. Tableau 1) [4];
- trois masques de type FFP sans soupape, certifiés FFP2 selon EN 149+A1 (notés P1 à P3) (Cf. Tableau 2) [5].

Banc d'essai

Le banc d'essai utilisé met en œuvre une tête factice (*i-bodi*), correspondant à une tête de taille moyenne dont les dimensions sont spécifiées dans la norme NF ISO 16900-5 [6]. Cette tête est connectée à une « machine à respirer » (de type DBM-01, *i-bodi*) permettant de simuler différents cycles respiratoires sinusoïdaux, choisis pour se rapprocher d'activités humaines courantes et correspondant à des rythmes de travail léger, moyen et intense, dont les débits de





← TABLEAU 1
Photos des
masques
chirurgicaux
jetables étudiés.



← TABLEAU 2
Photos des
masques de type
FFP étudiés.

RÉSUMÉ

Dans le contexte de pandémie de Covid-19, l'INRS s'est intéressé à l'impact de l'humidité de l'air exhalé à la fois sur la respirabilité et l'efficacité des masques. Ainsi, une étude expérimentale visant à évaluer l'évolution, au cours d'un port prolongé, de la perte de charge à travers différents types de masques ainsi que leur efficacité de protection

a été conduite. Deux types de masques ont été étudiés : des masques chirurgicaux (trois modèles) et des masques de type FFP (trois modèles). Si l'étude montre que la résistance respiratoire opposée par les masques chirurgicaux est largement inférieure à celle des masques de type FFP, aucune évolution significative de ce paramètre dans le temps n'a été

observée au bout d'un port de quatre heures consécutives. Les résultats montrent également que les performances des masques de type FFP sont effectivement dépendantes du modèle de masque et du débit respiratoire, mais pas de la durée de port du masque dans les conditions testées.

HUMIDITY FROM EXHALED AIR: HOW DOES IT AFFECT BREATHABILITY AND MASK EFFICACY?

In the context of the Covid-19 pandemic, INRS investigated how the humidity contained in exhaled air affected both breathability and mask efficacy. An experimental study was undertaken to assess changes occurring over the course of prolonged use. The pressure drop through various types of mask as

well as their protective efficacy were measured. Two types of mask were studied: surgical masks (three models) and FFP masks (three models). The study results showed that the respiratory resistance presented by the surgical masks was considerably lower than that of FFP-type masks, but no significant changes to this

parameter were measured at the end of four hours' consecutive use. The results also indicated that, in the conditions tested, the performance of FFP-type masks is closely linked to the model used and the breathing rate, but not to the duration of use.

pointe sont respectivement égaux à 41 L.min⁻¹, 84 et 141 L.min⁻¹, en accord avec la norme ISO 8996 [7].

Afin de simuler les conditions de température et d'humidité de l'air exhalé, celui-ci est chauffé à 37 °C et saturé en humidité à l'aide d'un humidificateur d'air (Fisher & Paykel, modèle Healthcare MR850) disposé entre la machine à respirer et la tête factice, comme illustré en *Figure 1*. Un percement étanche est réalisé dans le milieu de la pièce faciale, face à la bouche, afin de permettre soit la mesure de perte de charge, soit celle de la concentration en particules.

Dans un premier temps, les essais ont été réalisés en posant librement le masque sur la tête factice. Les performances d'un masque étant étroitement liées à l'ajustement de celui-ci sur le visage du porteur, une pose étanche a ensuite été effectuée: une fois le masque positionné sur la tête factice, une couche de vaseline a été appliquée sur toute la surface de contact entre le masque et la tête, afin de colmater les éventuelles fuites au visage.

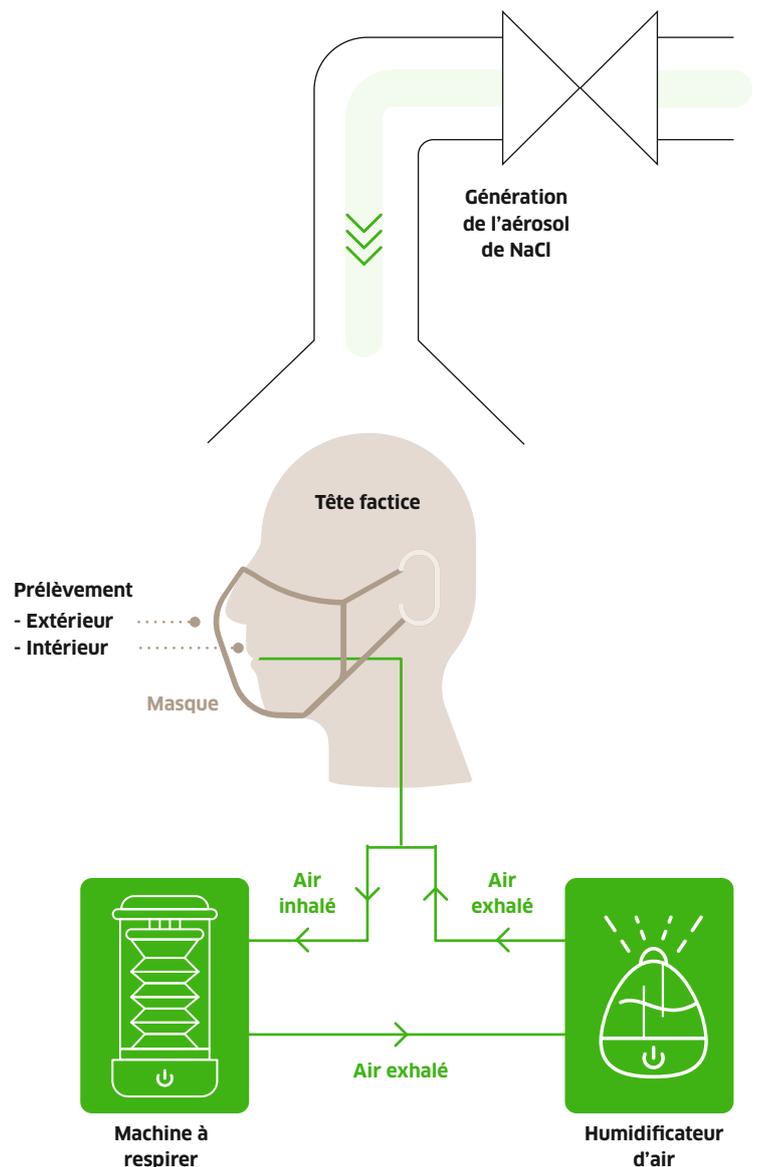
Pour chacune de ces deux poses, une caractérisation de l'atmosphère dans le masque a été réalisée en insérant un transmetteur d'humidité et de température (Vaisala, série HMT330) dans le masque. Cette insertion de la sonde à l'interface entre le visage et le masque étant susceptible de modifier l'étanchéité de la pose, cette mesure a été effectuée lors d'essais indépendants d'une durée de 15 minutes.

Mesure de la perte de charge à travers le masque

La pression relative est relevée dans le masque durant le cycle respiratoire à l'aide d'un capteur de pression (Keller, série 41X) permettant une mesure jusqu'à 0,1 bar, une augmentation de la perte de charge traduisant une résistance respiratoire plus élevée. Semblant raisonnable de considérer qu'une pause a lieu au milieu d'une journée de travail de huit heures, la durée des essais a été fixée à quatre heures pour les rythmes de travail léger et moyen, tandis qu'elle a été limitée à trente minutes dans le cas du rythme de travail intense, pour des raisons pratiques (d'autre part il semble peu probable de maintenir une activité aussi intense pendant une durée plus longue).

L'évolution de la perte de charge à travers le masque suit le cycle respiratoire, comme illustré en *Figure 2*. Cette étude se concentrant sur la résistance respiratoire maximale opposée par le masque, seules les valeurs maximales et minimales de perte de charge, correspondant respectivement aux pics de débit exhalé ou inhalé, ont été étudiées.

La pose libre du masque sur la tête pouvant influencer sur les résultats *via* la présence de fuites au visage plus ou moins importantes, trois essais ont été réalisés pour chacun des masques étudiés, avec un repositionnement systématique du masque sur la tête entre les essais. Pour chaque essai, la pression relative minimale (respectivement, maximale) est calculée pour une



période de dix minutes en moyennant les dix plus petites (resp. plus grandes) valeurs sur cette période. Pour chaque modèle de masque, la pression extrême retenue pour chaque période de dix minutes correspond alors à la moyenne des trois essais.

Mesure de l'efficacité de protection du masque

L'efficacité de protection des masques a été évaluée en générant un aérosol polydispersé de NaCl dans l'enceinte de test par nébulisation d'une solution saline. La distribution en nombre de tailles de particules de l'aérosol généré suit une loi log-normale avec une moyenne et un écart-type géométriques respectivement égaux à 40 nm et 11 nm. L'efficacité de protection de la pièce faciale filtrante est évaluée par comptage de particules au début et à la fin de l'essai. La concentration en nombre de particules est mesurée à l'extérieur du masque, dans un rayon de 30 cm autour de la bouche, ainsi qu'à l'intérieur du

↑ **FIGURE 1**
Schéma du montage expérimental. L'efficacité de protection des masques a été évaluée en générant un aérosol polydispersé de NaCl dans l'enceinte de test par nébulisation.



→ FIGURE 2
Illustration
de l'évolution
de la perte
de charge
à travers
le masque
au cours du temps
(exemple du
masque P1 –
rythme respiratoire
léger).



masque, également au niveau de la bouche, à l'aide d'un granulomètre Nanoscan SMPS (TSI, model 3910) sur onze canaux entre 11 nm et 205 nm. La différence entre la concentration totale à l'extérieur du masque et celle à l'intérieur permet de déterminer celle collectée par le masque. L'efficacité de protection de l'appareil de protection respiratoire (APR) est alors définie comme le rapport entre cette concentration en particules collectées et la concentration en particules à l'extérieur du masque. Il est important de noter que, les masques chirurgicaux étant des dispositifs médicaux visant à retenir les particules émises par leur porteur et n'étant donc pas des APR, cette évaluation a été effectuée uniquement sur les masques de type FFP.

Une résistance respiratoire constante

Dans un premier temps, l'étude s'est concentrée sur un rythme respiratoire correspondant à une activité légère. La température et l'humidité relative moyennes relevées dans l'enceinte de test lors des essais de quatre heures sont respectivement de 17,0 °C (entre 14,1 et 22,1 °C) et de 42,0 % (entre

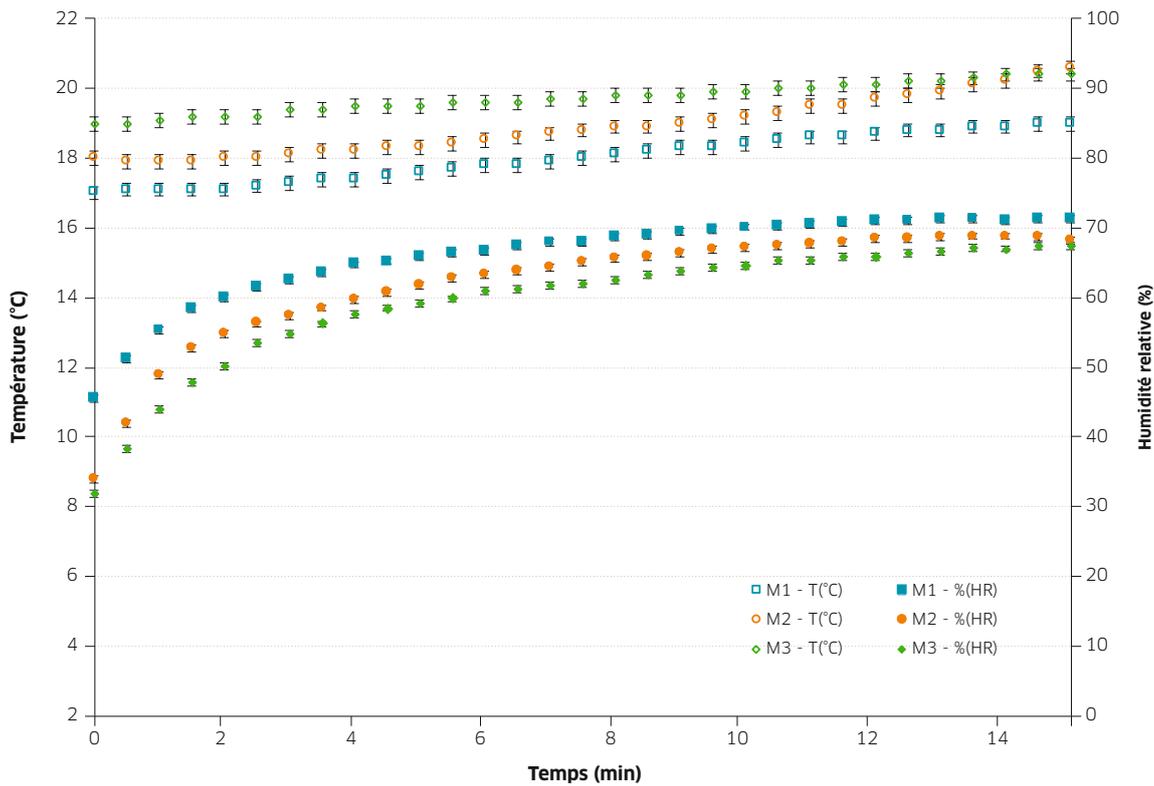
30,1 et 56,0 %). Les conditions de température et d'humidité au sein des masques chirurgicaux et de type FFP relevées lors des essais complémentaires sont présentées respectivement en *Figure 3* et en *Figure 4*. Il convient de noter que chaque courbe correspond à un unique essai. Il apparaît que la température au sein du masque croît lentement, tandis que l'humidité relative augmente très rapidement dès les premières minutes, avant de se stabiliser entre 65 % et 75 %. Cette croissance rapide suivie d'une stabilisation tend à indiquer que le régime permanent est rapidement atteint dans le masque, ce qui laisse supposer que l'effet de l'humidité de l'air exhalé sur les performances de celui-ci, notamment sur la respirabilité, à travers une mesure de perte de charge, devrait être observable rapidement.

La résistance respiratoire à l'inhalation et à l'exhalation est définie à partir de la mesure de perte de charge respectivement minimale et maximale mesurée à travers le masque. L'évolution dans le temps de cette perte de charge, mesurée pour chaque masque lors de l'inhalation, en considérant un rythme de

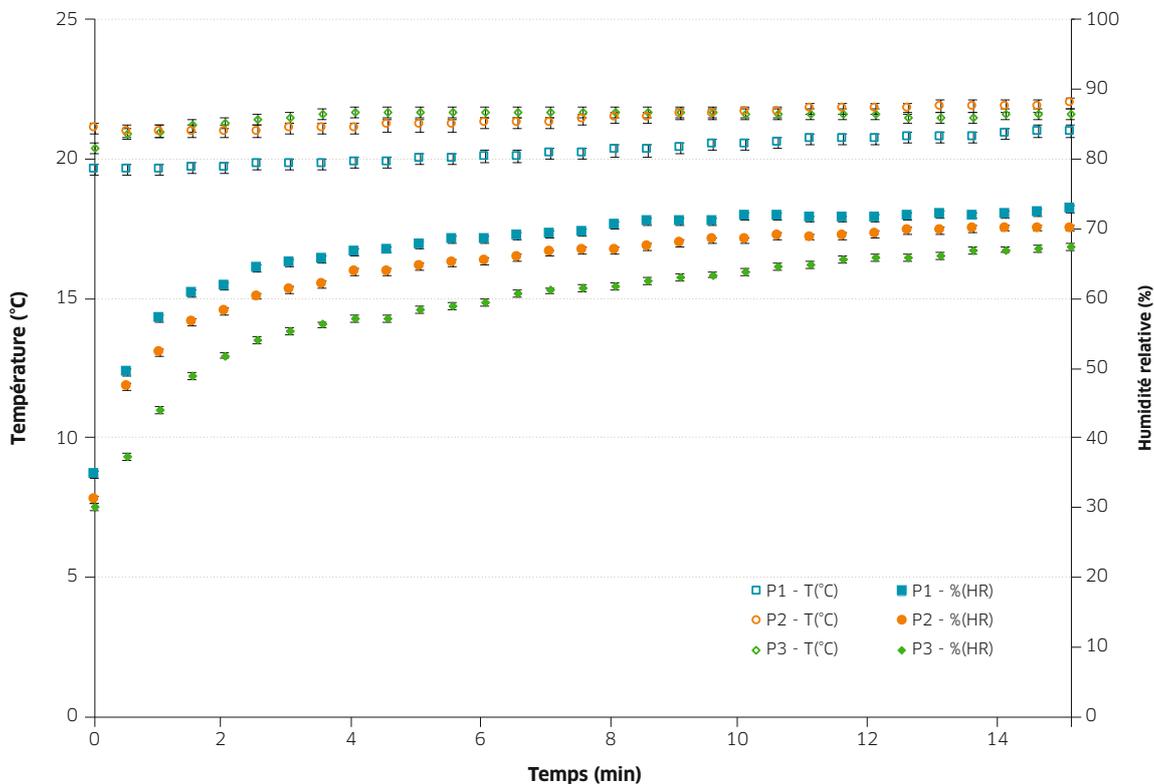
ENCADRÉ ESSAIS D'AJUSTEMENT

Lorsque la mise en œuvre de moyens de protection collective est impossible ou insuffisante pour garantir la sécurité des travailleurs, le port d'un APR peut s'imposer. Le processus de choix comporte quatre étapes, dont les trois premières consistent à analyser les paramètres liés aux polluants, au niveau de protection requis et aux conditions d'utilisation, afin de définir l'appareil adapté à la situation de travail. La dernière étape consiste à vérifier si l'appareil est également adapté à l'individu. En effet, l'efficacité de protection fournie par un APR dépend de la performance du filtre, mais également de l'étanchéité de la pièce faciale. Celle-ci doit être correctement ajustée au visage de l'opérateur afin de fournir le niveau de protection attendu.

Un modèle donné de masque ne convenant pas à toutes les morphologies de visage, la réalisation d'un essai d'ajustement est recommandée afin de vérifier l'adéquation entre le visage du porteur, d'une part, et le modèle et la taille de la pièce faciale, d'autre part. Cet essai doit être effectué lors du choix de l'APR, puis répété périodiquement ou lors d'un changement physique du porteur (amaigrissement, modification de la dentition, cicatrice, etc.). L'essai d'ajustement peut être qualitatif ou quantitatif, et peut être mis en œuvre sur le terrain. Lorsque des niveaux de protection élevés sont requis, l'essai d'ajustement quantitatif, permettant de calculer un coefficient d'ajustement propre à chaque porteur pour le modèle testé, est à privilégier.



← FIGURE 3
Évolution des conditions de température et d'humidité au sein du masque (cas des masques chirurgicaux).

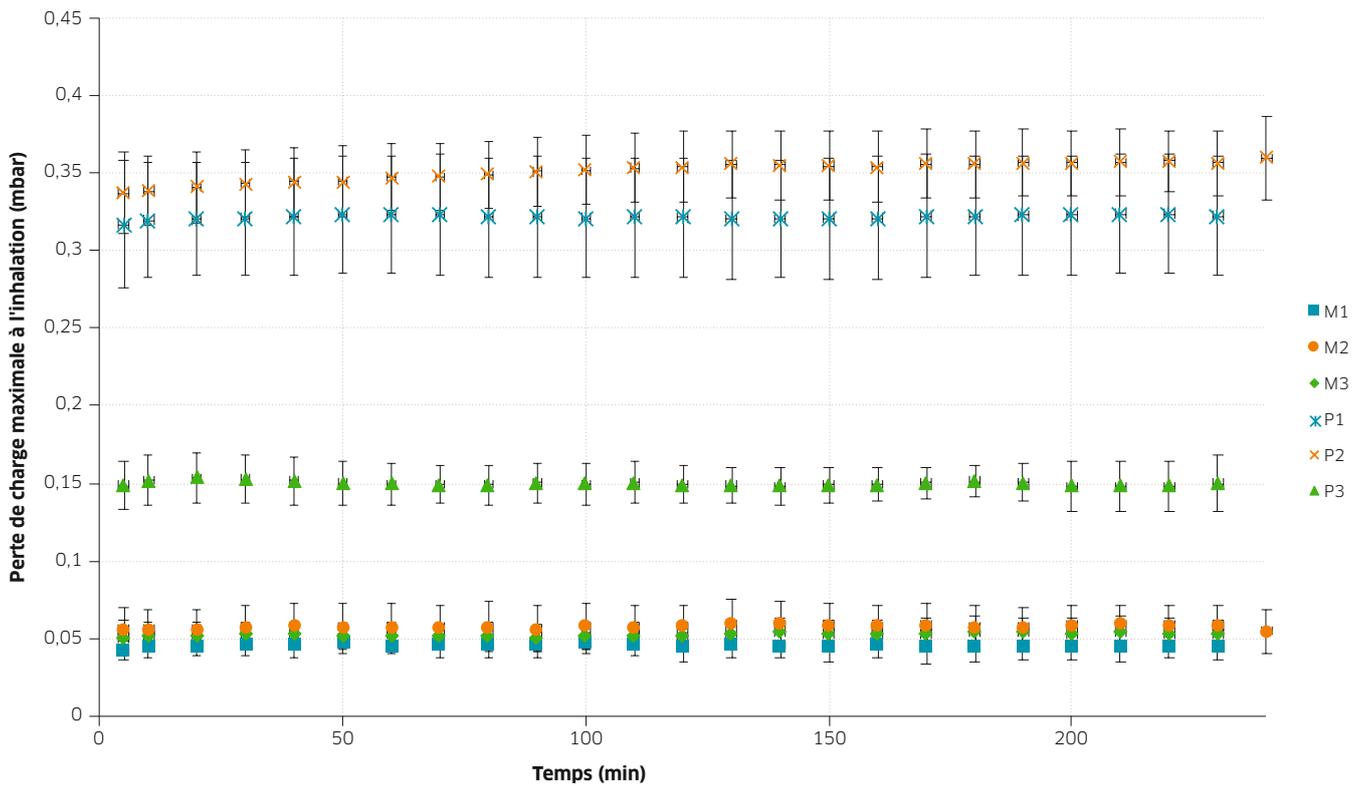


← FIGURE 4
Évolution des conditions de température et d'humidité au sein du masque (cas des masques de type FFP2).

travail léger, est présentée en Figure 5 (les barres d'erreur correspondent à l'écart-type sur les trois poses). Pour chaque modèle de masque, une très légère augmentation de la perte de charge, inférieure à 1 %, est visible lors des premières minutes, correspondant à l'établissement du régime permanent

observé précédemment. Par la suite, la perte de charge n'évolue pas de manière significative dans le temps lors d'un essai de quatre heures. En effet, l'écart maximal mesuré lors de l'essai est systématiquement inférieur à 10 %, tandis que l'incertitude de mesure moyenne est d'environ 14 %.





↑ FIGURE 5
Évolution de la perte de charge maximale à l'inhalation mesurée par modèle de masque lors d'un essai de quatre heures.
M : Masques chirurgicaux,
P : masques FFP.

Les valeurs moyennes sur quatre heures de perte de charge mesurées lors de l'inhalation et de l'exhalation sont présentées en Figure 6 (les barres d'erreur correspondent à l'écart-type sur les trois poses). La résistance respiratoire la plus élevée a été rencontrée avec les masques de type FFP notés P1 et P2, pour lesquels les pertes de charge maximales moyennes sont respectivement de 0,32 mbar et de 0,35 mbar. Le troisième masque de type FFP, noté P3, présente une résistance respiratoire plus faible, avec une valeur moyenne de 0,15 mbar à l'inhalation, tandis que les trois masques chirurgicaux montrent des pertes de charge à l'inhalation comprises entre 0,046 mbar et 0,058 mbar. Ces différences s'expliquent, d'une part, par la différence de matériaux filtrants et, d'autre part, par la présence de fuites au visage, très importantes dans le cas des masques chirurgicaux, tandis qu'au contraire les masques de type FFP, notamment les masques P1 et P2, s'ajustent bien au visage et présentent une faible fuite vers l'intérieur.

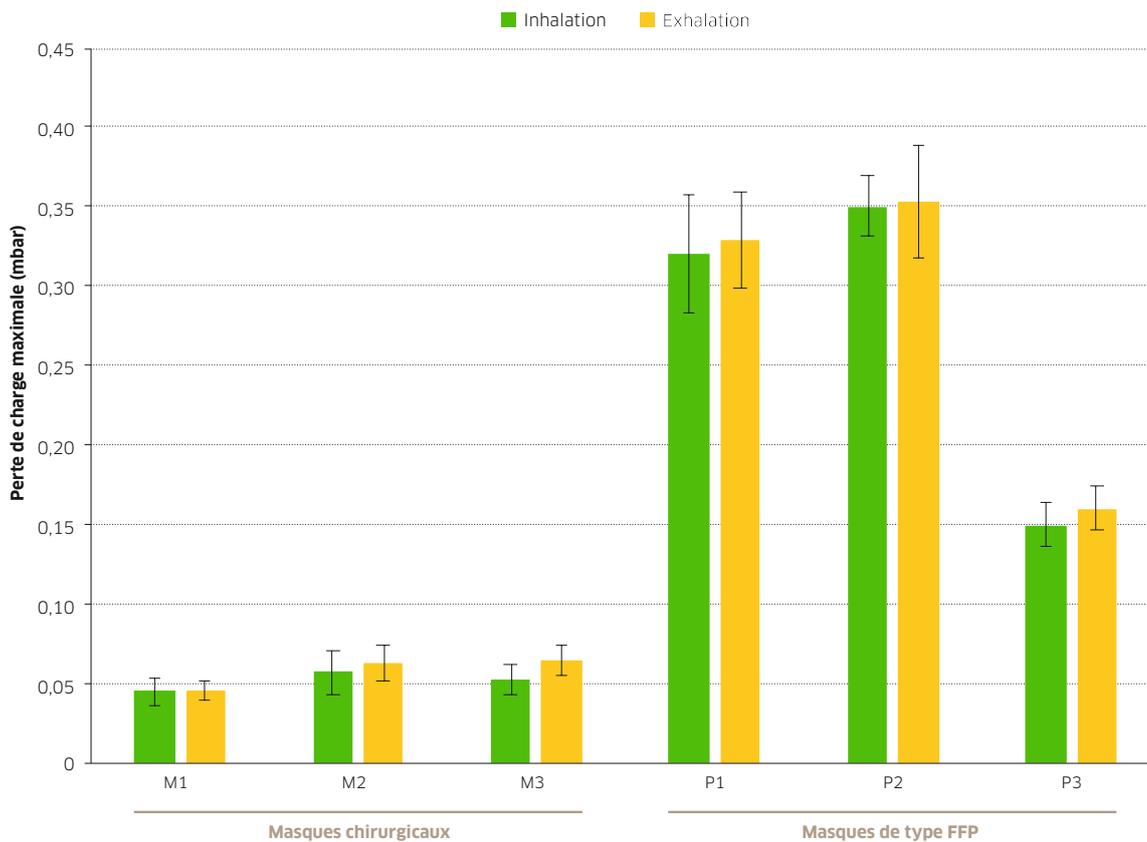
Les résultats obtenus tendent ainsi à montrer que la résistance respiratoire causée par les différents masques étudiés n'est pas significativement influencée par l'humidité de l'air exhalé pour un rythme de travail léger, mais plutôt par le type (chirurgical ou FFP) et le modèle de masque.

Pose étanche et variation de rythme respiratoire

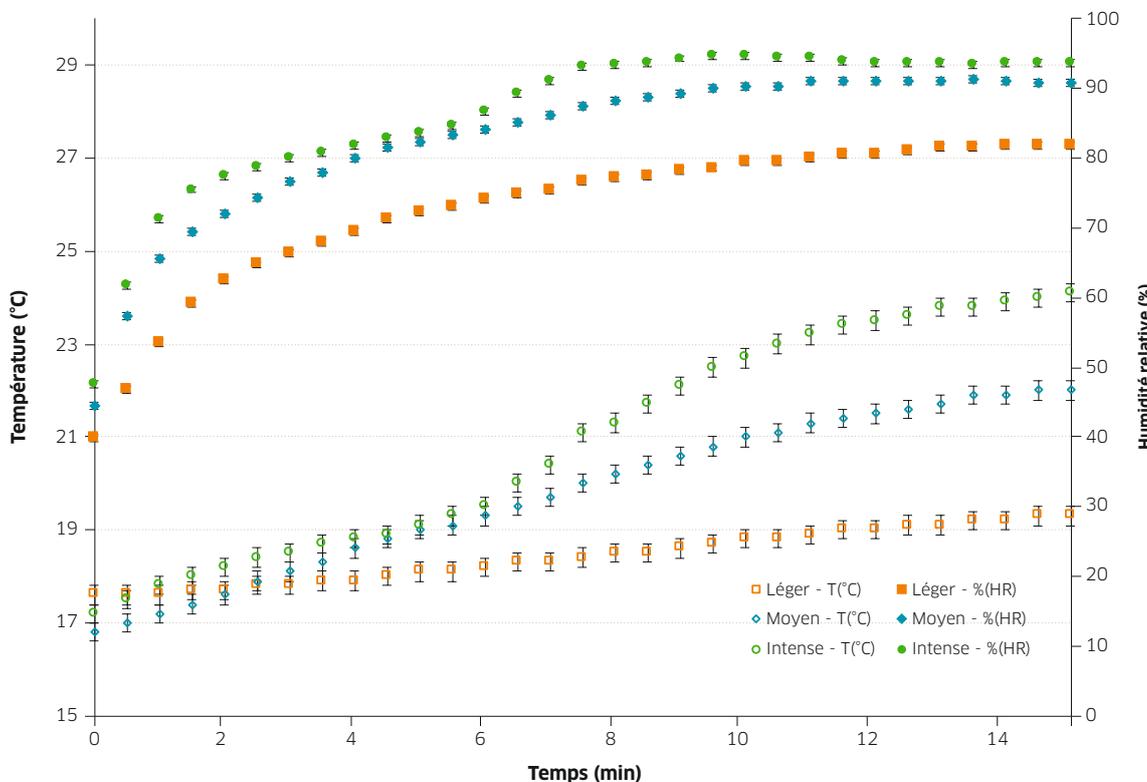
La perte de charge mesurée lors des essais précédents dépend de la résistance respiratoire du matériau



© Gaël Kerbaol/INRS/2022



← FIGURE 6
Perte de charge maximale à l'inhalation et à l'exhalation par type de masque (moyenne sur quatre heures de port simulé).

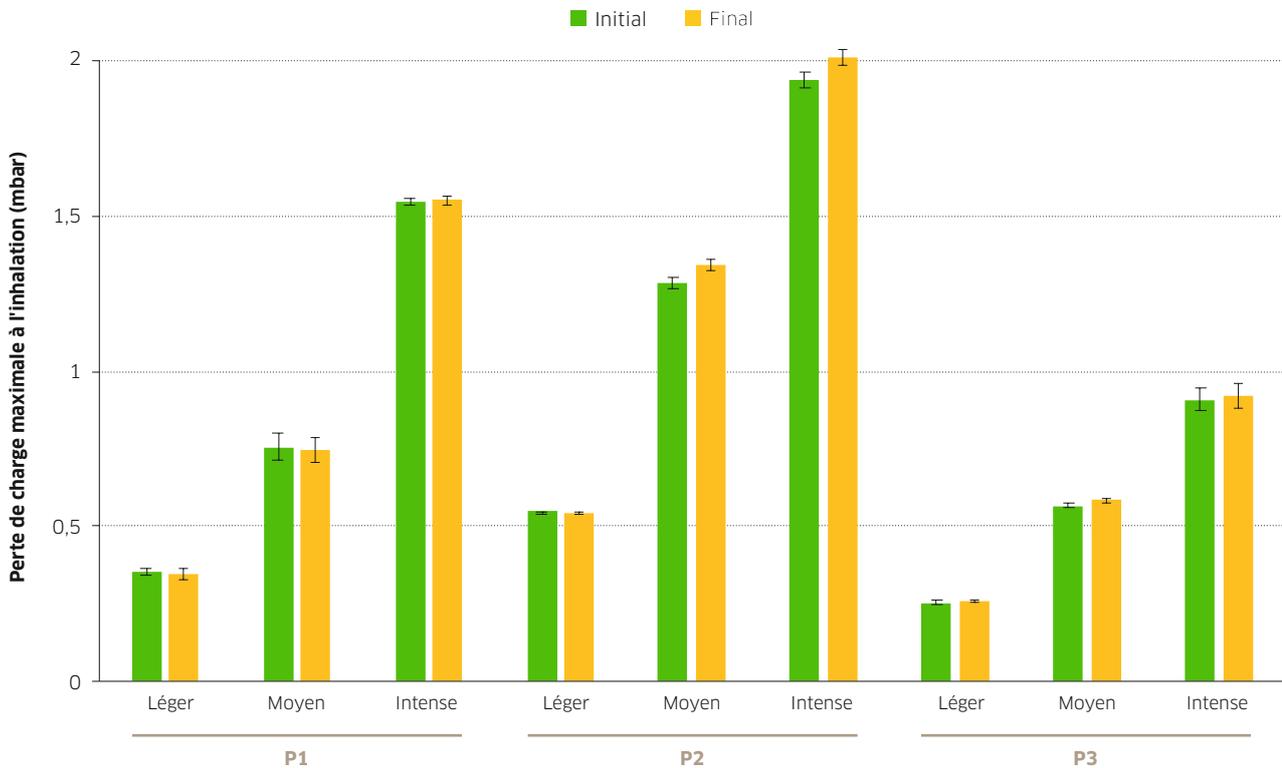


← FIGURE 7
Conditions de température et d'humidité au sein du masque pour les trois rythmes respiratoires (exemple du masque P3 - fuites colmatées).

filtrant, mais également des fuites au visage, directement liées à l'ajustement du masque. L'air pouvant s'infiltrer par ces fuites, leur présence mène à une sous-estimation de la résistance respiratoire

du masque. Afin de s'affranchir de l'influence de la pose du masque et de mesurer la perte de charge réellement opposée par le matériau filtrant, les essais suivants ont été réalisés en pose étanche sur les





↑ FIGURE 8 Perte de charge maximale à l'inhalation par type de masque lors d'un port simulé de quatre heures (rythmes respiratoires léger et moyen) et de trente minutes (rythme respiratoire intense) (masques de type FFP – fuites colmatées).

↓ TABLEAU 3 Comparaison des pertes de charge maximales moyennes mesurées à l'inhalation pour les différents masques à celle autorisée par la norme EN 149+A1.

trois masques de type FFP, de la même manière que précédemment, pour des rythmes de travail léger, moyen et intense.

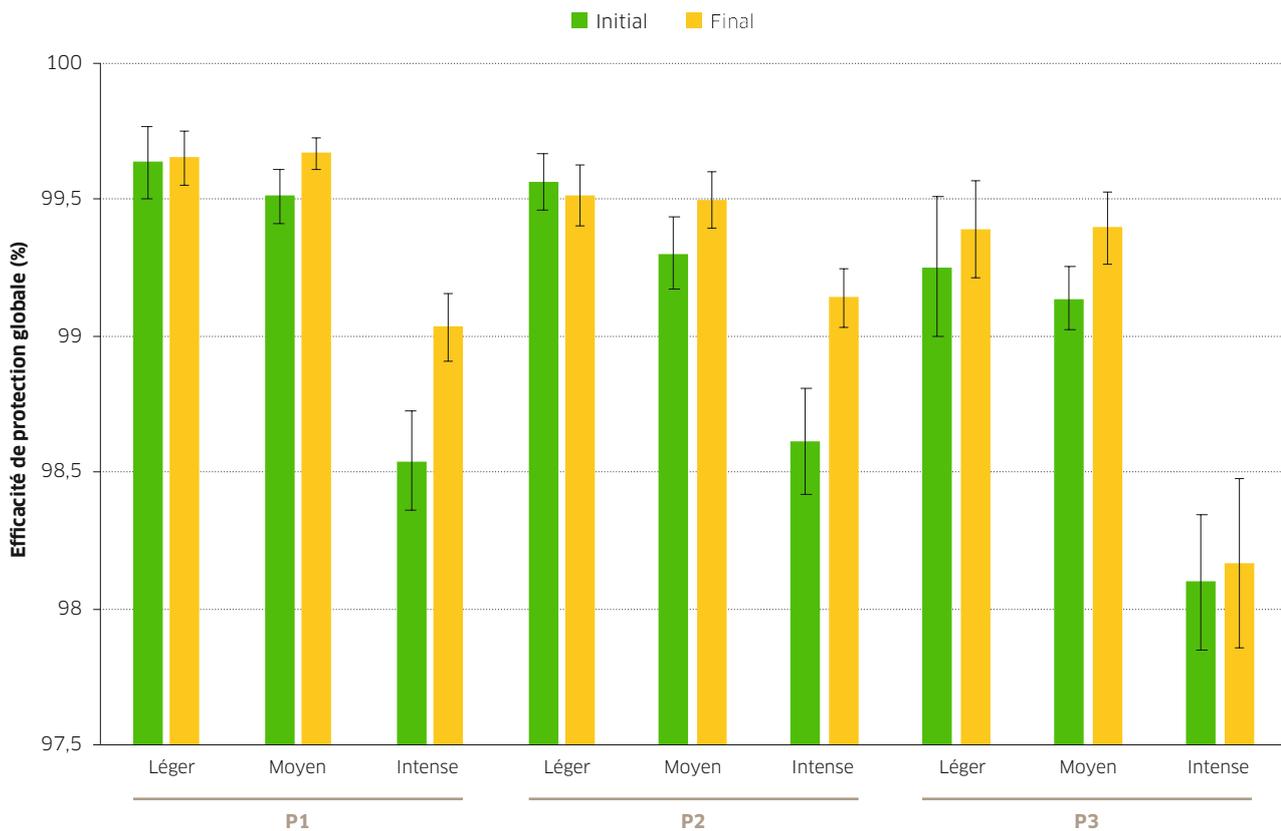
Les conditions de température et d'humidité au sein des masques ont été évaluées de la même manière que précédemment. L'évolution étant similaire pour les trois masques de type FFP étudiés et par souci de lisibilité, seules les valeurs mesurées au sein du masque P3 sont représentées en Figure 7 pour les trois rythmes respiratoires étudiés. Il apparaît qu'un débit respiratoire plus important entraîne davantage d'air humide et chaud, ce qui se traduit par une évolution plus marquée de la température et de l'humidité relative dans le masque au cours de l'essai. Ainsi, la température varie de $17,4 \pm 0,2 \text{ }^\circ\text{C}$ à $19,3 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ pour un rythme respiratoire léger, tandis qu'elle atteint $24,1 \pm 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ pour un rythme respiratoire intense. De plus, l'humidité relative atteint $81,9 \pm 0,5 \%$ pour un débit respiratoire léger, tandis qu'une valeur de $94,6 \pm 0,5 \%$ est atteinte pour un

débit respiratoire élevé. Ces valeurs reflètent les sensations d'inconfort parfois ressenties lors du port d'un masque bien ajusté au visage, plus particulièrement lors d'activités intenses.

Concernant la perte de charge, pour chaque masque et chaque débit respiratoire imposé, aucune évolution significative dans le temps n'a été observée, avec un écart maximal systématiquement inférieur à 7%. Les valeurs moyennes de perte de charge mesurées pour les différents modèles de masques lors de l'inhalation sont présentées en Figure 8 pour les trois rythmes de travail étudiés.

Il apparaît que pour des activités d'intensité légère et moyenne, la résistance respiratoire opposée par les différents masques n'est pas ou peu affectée par l'humidité de l'air exhalé, avec un écart systématiquement inférieur à 5% entre le début et la fin de l'essai. La norme EN 149+A1 impose une perte de charge maximale à l'inspiration inférieure à 0,6 mbar et 2,1 mbar, pour des débits respectifs de $30 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ et $95 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$. À partir de ces données, la perte de charge maximale autorisée pour les débits de pointe de cette étude a été calculée en considérant une relation linéaire entre la perte de charge et le débit imposé. Comme présenté dans le Tableau 3, la perte de charge maximale mesurée à l'inspiration avec un air exhalé humide est, pour les trois modèles de masques, largement inférieure à celle autorisée par la norme EN 149+A1, ce qui implique que ces masques y sont bien conformes en matière de respirabilité.

	RYTHME RESPIRATOIRE LÉGER (41 L.min ⁻¹)	RYTHME RESPIRATOIRE MOYEN (84 L.min ⁻¹)	RYTHME RESPIRATOIRE INTENSE (141 L.min ⁻¹)
Norme EN 149 + A1 [5]	0,99	2,12	3,61
P1	0,35 ± 0,01	0,75 ± 0,04	1,55 ± 0,01
P2	0,55 ± 0,01	1,31 ± 0,02	1,97 ± 0,02
P3	0,26 ± 0,01	0,57 ± 0,01	0,92 ± 0,01



© Patrick Delapierre pour l'INRS/2022

Ainsi, dans les conditions de température et d'humidité de cette étude, c'est-à-dire dans des conditions classiquement rencontrées sur des lieux de travail, l'humidité de l'air exhalé n'influe pas de manière significative sur la respirabilité des masques étudiés lors d'un port de quatre heures consécutives pour des rythmes de travail léger et moyen, et de trente minutes pour un rythme intense.

Une efficacité de protection intacte

La norme EN 149 [5]² impose, pour les masques de type FFP2, une efficacité du matériau filtrant supérieure à 94 % pour un aérosol inerte de diamètre en nombre compris entre 0,06 µm et 0,10 µm à un débit de filtration de 95 L.min⁻¹, réparti sur la surface du masque. Les fuites au visage étant colmatées, l'efficacité de protection des APR mesurée dans cette étude peut être assimilée à celle du matériau filtrant les constituant. Bien que l'aérosol généré soit composé de particules plus fines (granulométrie centrée sur 40 nm) que celles mentionnées dans la norme et que la vitesse de filtration soit différente, il apparaît en Figure 9 que l'efficacité de filtration des différents masques est supérieure à 98 % pour les trois rythmes respiratoires, démontrant une bonne protection de ces masques vis-à-vis de particules fines. Pour les trois modèles de masques, une légère diminution de l'efficacité globale, inférieure ou égale à 1 %, est observée en passant du rythme respiratoire léger à intense. Cette variation est due à une diminution

↑ FIGURE 9 Efficacité de protection globale vis-à-vis d'un aérosol de granulométrie centrée sur 40 nm lors d'un port simulé de quatre heures (rythmes respiratoires léger et moyen) et de trente minutes (rythme respiratoire intense) (masques de type FFP – fuites colmatées).



de l'efficacité de filtration avec l'augmentation du débit. De plus, pour un même débit, l'efficacité de protection finale est soit inchangée, soit légèrement plus importante que l'efficacité initiale. Cette augmentation, atteignant 0,5 % pour les masques P1 et P2 lors d'une activité intense, est en accord avec la légère augmentation de perte de charge observée précédemment en *Figure 8* qui traduit un possible colmatage du média filtrant. Les valeurs observées permettent ainsi de conclure que, lors d'un port prolongé, l'efficacité de protection des masques de type FFP étudiés n'est pas significativement altérée par l'humidité de l'air exhalé.

Conclusion

L'objectif de cette étude était d'évaluer l'impact de l'humidité de l'air exhalé à la fois sur la respirabilité des masques, mais également sur l'efficacité de protection fournie par ceux-ci. L'étude se limite au cas d'un port sur tête factice et considère uniquement l'humidité générée par l'air exhalé, sans inclure l'émission de gouttelettes, comme lors d'une toux ou d'un éternuement.

Cette campagne de mesures a été effectuée sur six modèles de masques : trois masques chirurgicaux et trois masques de type FFP. Pour un débit donné, la résistance respiratoire opposée par les différents masques est essentiellement dépendante du type et du modèle de masque. Les différences observées s'expliquent à la fois par l'emploi de différents matériaux filtrants et par l'étanchéité au visage plus ou moins bonne selon le modèle. S'il a été démontré que les masques chirurgicaux opposent une résistance à la respiration plus faible que les masques de type FFP, aucune évolution dans le temps de cette résistance n'a pu être mise en évidence lors d'un port prolongé allant jusqu'à quatre heures.

Afin de s'affranchir de l'influence des fuites au visage, celles-ci ont été colmatées lors d'essais

complémentaires sur les masques de type FFP, et trois débits respiratoires correspondant à des activités d'intensité légère, moyenne et intense ont été simulés. Pour les trois masques, l'augmentation du débit respiratoire conduit à une augmentation de la perte de charge à travers le masque, ainsi qu'à une faible diminution de son efficacité. Cependant, la perte de charge mesurée reste inférieure à celle recommandée par la norme EN 149+A1:2009, confirmant la bonne conformité des masques étudiés, et l'efficacité de protection mesurée reste supérieure à 98 %, démontrant une bonne protection respiratoire vis-à-vis de particules fines. Une nouvelle fois, aucune évolution significative de la perte de charge à travers le masque ni de l'efficacité de protection au cours d'un port prolongé n'a pu être mise en évidence. Ainsi, l'humidité de l'air exhalé n'influe pas de manière significative sur la résistance respiratoire des masques, ni sur l'efficacité des masques de type FFP, lors d'un port de trente minutes à quatre heures selon le rythme respiratoire simulé, à condition que le masque soit correctement ajusté et adapté au porteur. Il convient néanmoins de rappeler que l'efficacité d'un masque est liée à son bon ajustement, et qu'un modèle de masque donné ne s'ajuste pas forcément à tous les visages. Il est donc nécessaire, lors du choix du masque, de sélectionner un modèle adapté à la morphologie de chacun. ●

1. National Institute for Occupational Safety and Health : Institut national pour la santé et la sécurité au travail, États-Unis (Cincinnati, Ohio).

2. La norme d'essais correspondante est la EN 13274-7 [8].

POUR EN SAVOIR +

• **Protection respiratoire. Réaliser des essais d'ajustement.** INRS, 2021, ED 6273. Accessible sur : www.inrs.fr/media.html?refINRS=ED%206273.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] **FOIRE AUX QUESTIONS** – Masques de protection respiratoire et risques biologiques. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/risques/biologiques/faq-masque-protection-respiratoire.html>.
- [2] **ROBERGE R.J., BAYER E., POWELL J.B. ET AL.** – Effect of exhaled moisture on breathing resistance of N95 filtering facepiece respirators. *Annals of occupational hygiene*, 2010, 54 (6), pp. 671-677.
- [3] **RÉFÉRENTIEL NIOSH 42 CFR 84** – Approval of respiratory protective devices. The National Institute for Occupational Safety and Health, 2004. Accessible sur : <https://www.cdc.gov/niosh/npptl/topics/respirators/pt84abs2.html>.
- [4] **NORME EN 14683 + AC** – Masques à usage médical. Exigences et méthodes d'essai. Afnor, 2019.

[5] **NORME EN 149 + A1** – Appareils de protection respiratoire. Demi-masques filtrants contre les particules. Exigences, essais, marquage. Afnor, 2009.

[6] **NORME ISO 16900-5** – Appareils de protection respiratoire. Méthodes d'essai et équipement d'essai. Partie 5 : Machine respiratoire, simulateur métabolique, têtes factices et torsos APR, outils et outils de vérification. Afnor, 2017.

[7] **NORME ISO 8996** – Ergonomie de l'environnement thermique. Détermination du métabolisme énergétique. Afnor, 2005.

[8] **NORME EN 13274-7** – Appareils de protection respiratoire. Méthodes d'essai. Partie 7 : Détermination de la pénétration des filtres à particules. Afnor, 2019, 13 p.

NORMES : accessibles sur : www.boutique-afnor.org (site payant).

Participez à la recherche



Enquête sur les pratiques de terrain des préventeurs

→ L'INRS réalise une étude visant à dresser un panorama actualisé des pratiques des préventeurs en matière d'analyse des accidents du travail et d'évaluation des risques professionnels.

Vous êtes préventeur...

- ingénieur ou technicien QSE/HSE, chargé de prévention, conseiller en prévention des risques professionnels, responsable ou animateur sécurité... ;
- exerçant en interne dans une structure privée ou publique ;
- qui réalise ou participe à l'analyse des accidents du travail, et/ou à l'évaluation des risques professionnels.

L'INRS a besoin de vous pour répondre à un questionnaire en ligne, anonyme, d'une durée de 25 minutes environ. Venez partager votre expérience sur : www.inrs.fr/enqueteAT. Une synthèse commentée des résultats sera mise en ligne sur le site Internet de l'INRS courant 2023.

> Quels sont les objectifs de cette étude ?

Les préventeurs mènent quotidiennement de nombreuses tâches. Qu'en est-il de leur travail d'analyse des accidents du travail et d'évaluation des risques professionnels ?

Afin de rendre compte de la réalité de ces deux activités, il apparaît nécessaire de caractériser plus finement les difficultés que rencontrent les préventeurs et leurs pratiques de terrain vis-à-vis des accidents du travail et de l'évaluation des risques professionnels.

Les conclusions de l'étude contribueront à mettre en évidence les facteurs qui freinent ou favorisent ces pratiques, de façon à adapter les outils de prévention que l'INRS met à leur disposition, au plus près des réalités et des besoins du terrain.

> Comment se déroulera l'étude ?

L'étude sera menée en deux étapes. La première consiste en la diffusion d'un questionnaire anonyme à destination des préventeurs, qui fait l'objet de cet appel à participer. L'analyse des résultats de l'enquête permettra de dresser un état des lieux des pratiques des préventeurs

d'entreprise et de formuler des hypothèses qui seront explorées plus précisément dans la seconde étape de l'étude. Cette dernière se déroulera sur le terrain dans trois secteurs d'activité. Elle visera à caractériser de façon plus approfondie les pratiques et le contexte dans lequel elles s'inscrivent, par le biais d'entretiens, d'études documentaires et d'observations.

Les préventeurs intéressés pour participer à la seconde étape de l'étude pourront le signaler à la fin du questionnaire en ligne.



Vous souhaitez en savoir plus ?

Contactez Julie Dréano,
département Homme au travail
03 83 50 20 13 • julie.dreano@inrs.fr
INRS, rue du Morvan, CS 60027
54519 Vandœuvre-lès-Nancy Cedex

Notes techniques

OUVRAGES DE L'EAU POTABLE ET DE L'ASSAINISSEMENT

PRÉVENTION DU RISQUE CHIMIQUE DANS LES ESPACES CONFINÉS

Cet article vise à apporter un éclairage sur les bonnes pratiques de prévention à mettre en œuvre concernant le risque chimique dans les ouvrages de l'eau et de l'assainissement. Il s'appuie sur le retour d'expériences et les analyses des documents capitalisés notamment au travers du dispositif Catec^{®1} (Certificat d'aptitude à travailler en espaces confinés), que gère le réseau de l'Assurance maladie – Risques professionnels.

**BRUNO
GALLAND**
INRS,
département
Ingénierie
des procédés

DIANE MAGOT
INRS,
département
Formation

**CORINNE
DOGAN,
LUDOVIC
HAINOZ**
Cramif,
Direction
régionale
des risques
professionnels,
Centre
de mesures
et de contrôles
physiques

La recommandation R 472, adoptée en 2012 par le Comité technique paritaire national C de la Cnam (CTN-C : Industries des transports, de l'eau, du gaz, de l'électricité, du livre et de la communication), puis en 2013 par la CNRACL² (Cf. *En savoir plus*), a donné lieu à la création du dispositif de démultiplication Catec (Certificat d'aptitude à travailler en espaces confinés), dans le domaine de l'eau et de l'assainissement.

Ce texte s'appuie sur les points techniques de la recommandation R 447 de la Cnam, qui détaille la prévention des accidents lors des travaux en espaces confinés, elle-même adoptée en 2009 par le CTN-C (Cf. *En savoir plus*).

Depuis dix ans, le dispositif est géré par l'INRS et le réseau de l'Assurance maladie – Risques professionnels (AM-RP), qui confie à des organismes extérieurs la mise en œuvre des actions de formation. Cette démultiplication a pour but de faire face à des besoins accrus en formation dans le domaine de la prévention des risques professionnels.

Dans la recommandation R 447, il est préconisé à l'employeur, suite à l'analyse préalable des risques, de préparer toute intervention dans un espace confiné, de définir les mesures de prévention et de protection et de confier à des personnes formées et compétentes les activités à mener pour diminuer les risques d'accidents et limiter les conséquences dommageables³.

En effet, les espaces tels que ceux décrits par la R 447 présentent pour la santé et la sécurité des opérateurs des risques liés à leur atmosphère. Ceux-ci doivent ainsi être évalués en tenant compte de l'environnement de travail, ainsi que des opérations à réaliser. De cette évaluation des risques découlent le caractère « confiné » de l'espace et la nécessité de mettre en œuvre les mesures décrites ci-après.

La certification Catec permet de transmettre ces bonnes pratiques de prévention au niveau des opérateurs. Ainsi, elle concerne toute personne ayant à réaliser une intervention en espace confiné dans le domaine de l'eau et de l'assainissement, quel que soit son corps de métier et pour chacun des rôles d'intervenant et de surveillant :

- le surveillant, personne amenée à s'acquitter en sécurité du rôle de surveillant à l'extérieur de l'espace confiné ;
 - l'intervenant, personne amenée à s'acquitter en sécurité du rôle d'intervenant en espace confiné.
- Ces deux acteurs possèdent des compétences complémentaires pour la prévention lors d'une intervention en espace confiné, et leurs rôles et missions sont décrits dans les documents cadres du dispositif Catec. Les retours d'expérience du dispositif Catec amènent à synthétiser les principales préconisations de la recommandation R 472, issues de la R 447, afférentes à la prévention du risque chimique. Les mesures décrites ci-après précisent l'essentiel des bonnes pratiques à mettre en œuvre lors d'une

RÉSUMÉ

Dans le cadre de la prévention des risques liés au travail dans les ouvrages du secteur de l'eau potable et de l'assainissement, la recommandation R 472 a conduit à la création du dispositif de démultiplication Catec¹ (Certificat d'aptitude à travailler en espaces confinés) dans le domaine de l'eau et de l'assainissement. Le suivi du déploiement du dispositif Catec est réalisé par l'INRS et le réseau de l'Assurance maladie – Risques professionnels. Il bénéficie de l'appui

du Comité d'orientation et de suivi, dans lequel sont représentés les partenaires sociaux et les différents régimes concernés (Cnam, INRS, CNRACL²...). L'objet de cet article est d'examiner les principales préconisations de la R 472, issues de la R 447, afférentes à la prévention du risque chimique et de préciser les principes scientifiques et techniques qui ont conduit à les éditer. En particulier, sont rappelées et argumentées :

- une description des moyens à mettre en œuvre en matière de détection, de protection contre les gaz et de ventilation mécanique lors d'une intervention dans un ouvrage confiné ;
 - les bonnes pratiques de mise en œuvre de ces moyens de prévention et de protection.
- En conclusion, une synthèse de ces éléments est présentée sous la forme d'un synoptique d'intervention type dans un ouvrage d'assainissement.

Chemical risk prevention in confined spaces – Drinking water and wastewater facilities

Within the framework of occupational risk prevention in drinking water and wastewater facilities, recommendation R 472 issued by the national health insurance fund (CNAM) led to the creation of the CATEC (certificate of competence for working in confined spaces) programme in the field of drinking water and wastewater. Monitoring of the deployment of the CATEC programme is performed by INRS and the health insurance/occupational

risk network. It enjoys the support of the steering and follow-up committee which represents social partners and the different health insurance schemes (CNAM, INRS, national insurance fund for local government workers, etc.). The purpose of this article is to examine the main recommendations of R 472, arising from recommendation R 477, relating to chemical risk prevention and to specify the scientific and technical principles behind the recommendations.

In particular, it contains:

- a description of the resources to be used for gas detection and protection, and for mechanical ventilation during operations in confined facilities;*
- good practices for implementing these prevention and protection means.*

In conclusion, a summary of these elements is presented in the form of an illustration featuring a standard operation in a wastewater facility.

intervention en espace confiné dans le domaine de l'eau et de l'assainissement, concernant ce risque.

Détection d'une atmosphère dangereuse

Une des particularités des espaces confinés est de présenter une atmosphère potentiellement délétère pour les opérateurs amenés à y exercer une activité. L'atmosphère de l'ouvrage peut ainsi présenter un taux d'oxygène insuffisant, et/ou contenir des gaz toxiques et/ou inflammables. Afin de prévenir les personnels de la présence ou de la survenue d'une atmosphère dangereuse, le recours à un détecteur de gaz à lecture directe est la solution préconisée par la recommandation R 447.

Le détecteur de gaz n'est pas un équipement de protection individuelle (EPI), mais un système d'alarme faisant partie des équipements de sécurité dont doit s'équiper tout intervenant pénétrant dans l'espace confiné. Pour que ce détecteur réponde réellement à la notion d'équipement de sécurité, il est nécessaire qu'il suive des règles de choix, d'utilisation et de maintenance.

L'évaluation des risques, propre à chaque espace confiné, conduit à choisir les gaz qui doivent être monitorés par le détecteur. La configuration classique la plus répandue est celle du détecteur quatre gaz (*Cf. En savoir plus*), qui permet la détection en temps réel, dans l'air, du niveau d'oxygène (O₂) en pourcentage volumique (%_v) ; de la concentration en monoxyde de carbone (CO) ; de la concentration en sulfure d'hydrogène (H₂S) en parties par million volumique (ppm_v) ; et de la concentration des gaz inflammables, en équivalent du pourcentage de la limite inférieure d'explosivité du méthane (%_{LIE} CH₄). Cette configuration n'est cependant pas universelle. Il peut s'avérer nécessaire, en fonction de l'espace confiné, de la compléter par l'ajout par exemple d'un capteur de chlore (Cl₂), d'ammoniac (NH₃), de composés organiques volatils (COV)...

Le détecteur doit être mis en fonctionnement hors de l'espace confiné à l'écart de toute source de pollution. L'opérateur doit, à l'issue du démarrage, constater l'absence de message d'erreurs (capteur défectueux, date de vérification/de calibrage



GAZ	O ₂ % _V	CH ₄ % _{LIE}	CO PPM _V	H ₂ S PPM _V	CL ₂ PPM _V	COV PPM _V	NH ₃ PPM _V
Réponses nominales attendues en air extérieur*	20,9	0	0	0,0	0,00	0	0
Réponses admissibles en air extérieur	19,7 < O ₂ < 21,0	< 1	< 5	< 1,0	< 0,10	< 1	< 3

* Pour un détecteur parfaitement calibré.

↑ TABLEAU 1 Réponses nominales que devrait afficher un détecteur en bon état dans une atmosphère extérieure, en l'absence de pollution pour quelques capteurs (liste non exhaustive).

La dernière ligne donne des valeurs des réponses possibles tenant compte d'une dérive acceptable des capteurs et d'un environnement urbain faiblement pollué.

dépassée...), observer le niveau de charge de la batterie et vérifier l'intégrité physique de l'appareil (filtres propres, pince d'accroche bien fixée...). Au bout d'une dizaine de minutes, l'opérateur procède à un nouvel examen visuel de l'afficheur en portant une attention particulière à la capacité de la batterie, qui doit toujours présenter une autonomie suffisante. Ce « temps de chauffe » permet de plus aux différents capteurs de se stabiliser. À l'issue de cette première période, les réponses affichées par les capteurs doivent être de l'ordre de celles du Tableau 1. Pour la phase de mesure en tous points d'accès, à l'issue de la phase de ventilation mécanique de l'ouvrage (i.e. tous les endroits par lesquels un intervenant

peut de manière autonome entrer ou sortir), il est important de respecter *a minima* trois mesures d'une minute chacune, en trois paliers répartis sur la hauteur de l'accès. Lors de cette phase, le surveillant ou la personne réalisant la mesure doit garder en permanence le détecteur dans son champ visuel, afin de déceler tout déclenchement d'une alarme lumineuse, même temporaire. Dans un environnement bruyant, l'alarme sonore d'un détecteur individuel à plusieurs mètres de profondeur peut être inaudible. La descente de l'appareil dans l'accès peut se faire à l'aide d'une corde ou du câble du tripode anti-chute. Il faut néanmoins veiller à ce que le détecteur ne touche pas le fond, pour éviter toute immersion

ENCADRÉ 1

LES MASQUES AUTO-SAUVETEURS ET LES MASQUES DE FUITE

La R 447 stipule que chaque opérateur accédant à l'espace confiné doit être équipé d'un masque auto-sauveteur à recyclage afin de pouvoir évacuer l'ouvrage en cas d'alerte d'atmosphère non respirable. Il existe deux types de masque auto-sauveteur (en anglais : *self-rescuer* ou *SCSR*) : ceux à production chimique d'oxygène et ceux avec une réserve comprimée d'oxygène, généralement plus lourds et encombrants. Qualifiés d'appareils de protection respiratoire isolants autonomes à circuit fermé, ces dispositifs possèdent une cartouche de régénération permettant de piéger le CO₂ exhalé par l'opérateur. Un auto-sauveteur permet de se protéger contre tout type d'atmosphère délétère et offre une autonomie de l'ordre d'une vingtaine de minutes pour l'évacuation de la zone de danger. La R 447 prévoit la possibilité de substituer au masque auto-sauveteur un masque de fuite à cartouche filtrante si l'ouvrage est

suffisamment ventilé et si aucune émission de gaz dangereux n'est engendrée par les travaux réalisés par les opérateurs. Le choix de la cartouche filtrante (Cf. *En savoir plus*) est primordial et doit correspondre aux risques identifiés préalablement concernant la nature des gaz toxiques (cartouche de type ABEK ou CO...). Dans tous les cas, un masque de fuite à cartouche filtrante ne protégera pas l'opérateur d'une diminution du taux d'oxygène dans l'air de l'ouvrage. L'appareil respiratoire d'évacuation choisi devra être compatible avec le port des autres EPI, notamment du casque, lors de la phase d'équipement et lors de l'évacuation. Ainsi, un opérateur obligé d'ôter son casque pour s'équiper de son masque perd temporairement la protection mécanique de sa tête et peut, dans le stress de l'évacuation, mal le repositionner. Un masque avec embout buccal (Cf. *Photo 1*) est une solution compatible avec le port d'un casque.

Quel que soit le choix de la protection respiratoire adoptée, il est très important d'entraîner régulièrement les opérateurs à leur mise en place.



↑ PHOTO 1 Exemple de mise en place d'un masque auto-sauveteur à embout buccal.

accidentelle ou occultation des capteurs par des boues. Par ailleurs, durant cette phase de mesure, il ne faut pas couper la ventilation mécanique, le risque d'oublier sa remise en route lors de l'accès des opérateurs étant trop important.

L'expérience acquise depuis la mise en place du dispositif Catec permet de constater que certains permis de pénétrer requièrent de renseigner les valeurs des concentrations de gaz mesurées par le détecteur, lors de la mesure aux divers points d'accès. Cet enregistrement des valeurs n'est pas requis par la recommandation R 447, mais ces données peuvent permettre à un exploitant de cartographier les ouvrages dans lesquels il intervient et d'adapter ainsi les procédures de travail de ses salariés en fonction des sites. Si le permis de pénétrer ne stipule pas de valeur de seuils de concentration conditionnant l'accès à l'ouvrage, les opérateurs de terrain doivent se baser uniquement sur le déclenchement d'une des alarmes de leur détecteur pour statuer sur l'accès au site, comme le préconise la R 447.

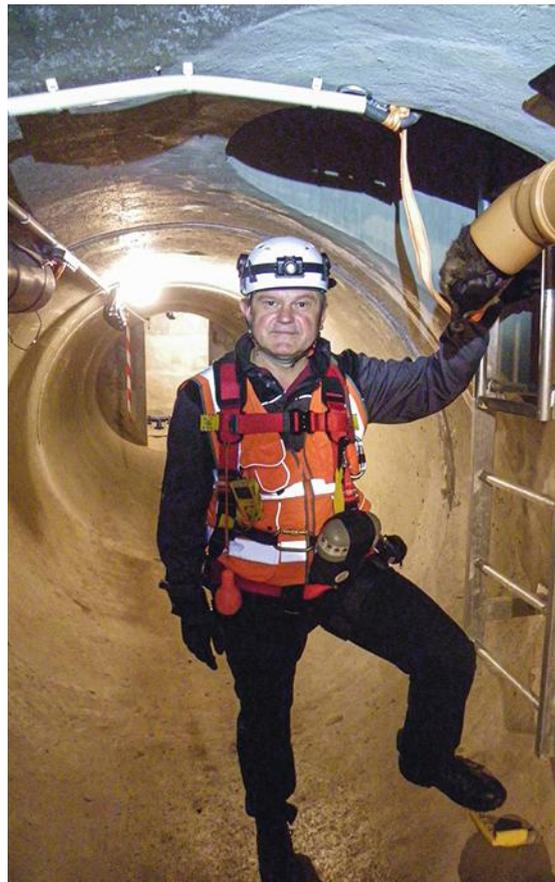
Lors des activités à l'intérieur de l'espace confiné, les intervenants doivent être attentifs à n'importe quel déclenchement d'alarme et ceci, quel que soit le détecteur. La survenue d'une alarme doit immédiatement déclencher la mise en place du masque auto-sauveteur par tous les intervenants (Cf. Encadré 1) avant l'évacuation de la zone.

Lors de la progression à l'intérieur de l'ouvrage, chaque intervenant doit être équipé de son propre détecteur individuel. À propos du positionnement de l'appareil sur l'opérateur, deux points sont à considérer :

- les capteurs doivent être au contact de l'atmosphère et les entrées de gaz ne doivent pas être occultées par un autre équipement, par exemple par un vêtement rajouté ou encore par les membres de l'opérateur. Par extension, il est indispensable que le détecteur soit fixé fermement, sans possibilité de mouvement de rotation, afin d'empêcher que les capteurs puissent se retrouver contre les vêtements de l'intervenant ;
- les détecteurs doivent être protégés au mieux contre les chocs et les projections de liquides ou de solides. Le positionnement du détecteur au niveau du thorax (Cf. Photo 2) de l'intervenant permet :
- de préserver au mieux l'appareil contre les chocs et les risques d'occultation ;
- d'offrir une rapidité de détection satisfaisante ;
- d'optimiser la perception d'une alarme sonore ou visuelle.

Les détecteurs de gaz sont des instruments techniques qui nécessitent d'être vérifiés et calibrés par comparaison à des gaz étalon. Ces opérations de vérification/calibrage (Cf. En savoir plus) sont effectuées périodiquement par du personnel formé.

Ces opérations doivent aussi être réalisées dès que le détecteur est confronté à une situation



← PHOTO 2
Équipement type d'un opérateur évoluant dans un ouvrage d'assainissement : vêtements haute visibilité et gants de travail, casque à jugulaire équipé d'un système d'éclairage autonome, chaussures de sécurité, harnais antichute, masque auto-sauveteur et détecteur de gaz individuel.

extrême, par exemple une chute (chocs mécaniques), une immersion, une exposition à de fortes concentrations de gaz : dans tous ces cas, l'utilisateur doit faire remonter l'information de ce type d'événements, afin qu'une opération de maintenance du détecteur puisse être déclenchée par le personnel en charge de l'entretien et le suivi des matériels.

Enfin, pour la vérification du bon fonctionnement de l'appareil, il est impératif, comme on l'observe parfois, de ne pas exposer volontairement un détecteur de gaz à des fumées de gaz d'échappement d'un moteur thermique, à des fumées de combustion (cigarettes) ou encore, à d'importantes concentrations de gaz inflammables (gaz de briquet) : non seulement ces opérations ne garantissent pas le bon fonctionnement du détecteur, mais elles endommagent les capteurs en entraînant une perte de sensibilité, une réduction de leur durée de vie, etc.

Ventilation de l'espace confiné

La ventilation des espaces de travail et des espaces confinés est décrite dans des guides de référence (Cf. En savoir plus).

Afin de favoriser la présence d'une atmosphère intérieure respirable et non dangereuse dans l'ouvrage, la recommandation R 447 impose la mise en œuvre d'une ventilation mécanique avant d'accéder





↑ PHOTO 3 Exemple de deux types de ventilateurs. Ceux-ci sont équipés de gaines souples annelées, étirées au maximum afin de favoriser au mieux l'écoulement de l'air insufflé dans l'ouvrage.



↑ PHOTO 4 Exemple de passage d'une gaine dans un tampon. Le ventilateur (bloc bleu) reste à l'extérieur de l'ouvrage, prélève l'air extérieur (partie en rouge) et l'insuffle dans l'ouvrage via la gaine (jaune). À noter le tampon métallique en position ouvert, permettant le passage de la gaine dans le regard, et la mise en place d'une protection collective contre les chutes, sous la forme d'une barrière rigide.

à l'ouvrage, sauf cas particuliers (non développés dans cet article)⁴.

Dans ce type d'ouvrage, des multiples sources d'émission diffuse de pollution peuvent être présentes. La technique de ventilation par dilution, par introduction d'air neuf, est à privilégier comme technique d'assainissement vis-à-vis des risques chimiques et biologiques. Cette solution d'introduction d'air non pollué pris à l'extérieur permet de garantir une qualité suffisante de l'air apporté auprès des voies respiratoires des salariés en espace confiné ou dans les réseaux d'assainissement.

Dans les cas où les travaux réalisés dans l'ouvrage induiraient une ou des émissions localisées de polluants (utilisation d'outils thermiques par exemple), la mise en œuvre d'une solution de captage à la source des polluants devra aussi être envisagée.

La recommandation R 447 de la Cnam impose l'utilisation d'un ventilateur permettant d'assurer un taux de renouvellement d'air de 10 volumes par heure avant l'intervention et de 20 volumes par heure pendant l'intervention. Le taux de renouvellement horaire d'air indique combien de fois par heure le volume d'air doit être renouvelé dans un espace de volume défini. Le volume à ventiler englobe l'ensemble de la zone d'intervention, c'est-à-dire à la fois la zone de travail (par exemple, chambre à sable), et/ou les zones de cheminement (par exemple, inspection des réseaux), dans lesquelles l'opérateur va évoluer. Ainsi, si le volume de l'espace confiné est de 100 m³, le ventilateur utilisé devra pouvoir insuffler de l'air à un débit maximal de 100 × 20 = 2 000 m³.h⁻¹. Le permis de pénétrer, obligatoirement rédigé, doit mentionner les dimensions de l'ouvrage, et si possible, le débit à mettre en œuvre, afin de permettre de choisir le bon équipement dès l'étape de la préparation de l'intervention.

Le ventilateur doit de préférence être à débit variable, afin de s'adapter à différents types d'ouvrage et au taux de renouvellement souhaité. Il doit être pourvu idéalement d'un indicateur de fonctionnement lumineux ou sonore, pour permettre au surveillant de s'assurer en permanence de son bon fonctionnement.

Afin de ne pas dégrader le débit d'air insufflé par le ventilateur, il faudra veiller dans la mesure du possible à limiter les pertes de charge, notamment :

- en utilisant les longueurs de gaine nécessaire ;
- en évitant les changements brusques de direction des gaines (par exemple, éviter les coudes à 90°) ;
- en étirant au maximum les gaines souples annelées (Cf. Photos 3 et 4).

En cas de doute sur le débit réel du système de ventilation, une méthode simple (Cf. Encadré 2) permet d'estimer ce débit et de vérifier son adéquation avec les valeurs requises par la R 447.

Un groupe électrogène peut être nécessaire pour alimenter le ventilateur. Sa puissance électrique doit être adaptée. Il convient de le positionner d'une façon telle que ses gaz d'échappement, qui contiennent notamment du monoxyde de carbone toxique, ne soient pas réintroduits dans l'ouvrage, ni orientés vers le surveillant. En milieu urbain, veiller à ne pas le positionner à proximité d'ouvrants de bâtiments dans lesquels les gaz d'échappement pourraient s'introduire. Lors de l'ouverture de deux tampons de l'ouvrage souterrain (Cf. Photo 4), une aération naturelle peut s'établir. La ventilation mécanique de l'intérieur de l'ouvrage sera d'autant plus efficace si le soufflage est réalisé dans le même sens que l'écoulement naturel de l'air dans l'ouvrage. Il est par conséquent utile d'estimer le sens de l'écoulement naturel de l'air dans l'ouvrage à l'ouverture des tampons : le recours à un fumigène ou à un simple

ENCADRÉ 2

ESTIMATION DU DÉBIT DE VENTILATION

Une fois l'ensemble du système de ventilation installé, afin d'estimer le débit d'air neuf réellement insufflé dans l'ouvrage et tenant compte des pertes de charge, il est possible d'utiliser un anémomètre à hélice (Cf. *En savoir plus*) pour mesurer la vitesse d'air moyenne v_m [m/s] au niveau de l'entrée d'air du ventilateur. En multipliant ce résultat par la section S [m²] de la gaine de ventilation et par 3 600, on obtient le débit d'air insufflé [m³/h] dans l'ouvrage. Par exemple, si l'anémomètre donne une indication de vitesse moyenne v_m de 8,5 m/s pour un ventilateur dont la gaine de sortie est de diamètre 30 cm, le débit d'air neuf Q_v [m³/h] apporté dans l'ouvrage tenant compte des pertes de charge sera de :

$$Q_v \text{ [m}^3\text{/h]} = v_m \text{ [m/s]} \times S \text{ [m}^2\text{]} \times 3\,600 = 8,5 \times \left(\frac{\pi \times (0,3)^2}{4} \right) \times 3\,600 = 2\,163 \text{ m}^3\text{/h}$$

Connaissant le volume de l'ouvrage, le taux de renouvellement réel pourra être facilement déterminé. Si, dans l'exemple cité, le volume de l'ouvrage est d'environ 100 m³, le taux de renouvellement réel est de 2 163 / 100 = 22, valeur conforme aux préconisations de la recommandation Cnam R 447.

morceau de rubalise de chantier introduite dans le regard permet de mettre en évidence ce potentiel écoulement naturel d'air.

À noter : autre élément de prudence : le sens du flux d'air dans l'ouvrage ne suit pas forcément le sens de l'eau ; par ailleurs, il n'est pas toujours identique au sens du vent à l'extérieur. Il peut aussi changer en cours de journée en fonction des variations d'écart de température entre l'air extérieur et l'air intérieur de l'ouvrage souterrain (Cf. *Photo 5*).

La prise d'air neuf des ventilateurs doit être située dans une zone hors contamination, en particulier à contresens du vent et loin de la sortie de l'air pollué provenant de l'espace confiné, ainsi que des échappements des moteurs thermiques utilisés pour les travaux ou pour alimenter les ventilateurs (une distance de 8 mètres par rapport à la source de pollution est appropriée). Des corps solides légers, comme des feuilles mortes ou des déchets de type emballage plastique, peuvent potentiellement être aspirés et venir obstruer tout ou partie de la surface d'entrée d'air du ventilateur, avec pour conséquence une diminution du débit d'air neuf introduit dans l'ouvrage. Ce dernier point renforce la nécessité pour le surveillant d'être attentif au bon fonctionnement du système de ventilation.

Il convient de diriger le flux d'air introduit dans l'axe de l'ouvrage en direction des opérateurs, à hauteur des voies respiratoires (Cf. *Figure 1*), et en tenant compte de la position debout ou accroupie de l'opérateur. Ne pas souffler directement en direction du sol sur des matières pouvant s'évaporer ou être projetées ou mises en suspension dans l'air.

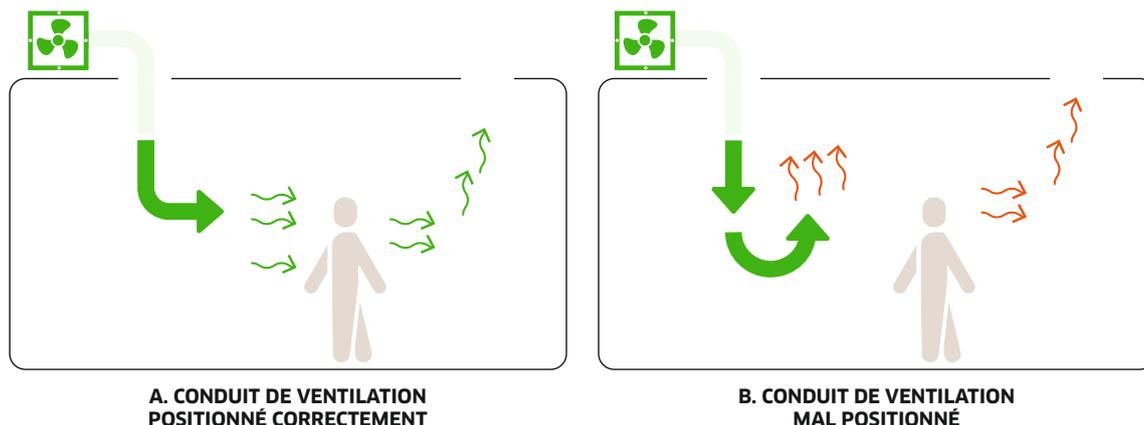
De manière générale, l'intervenant doit toujours se situer entre le point d'introduction d'air mécanique et le regard ouvert afin de se positionner dans un flux d'air neuf. Il est rappelé que l'air prend toujours le « chemin le plus facile », pour lequel il rencontre



© Bruno Galland/INRS/2022

↑ PHOTO 5 Exemple d'un ouvrage école équipé de rubalise de chantier. Cette installation permet aux stagiaires de visualiser l'effet de la ventilation.





↑ FIGURE 1 Effet de la position de la gaine d'introduction d'air.
 Cas A : l'air neuf arrive directement à hauteur des voies respiratoires de l'opérateur.
 Cas B : l'insufflation de l'air neuf, directement en direction du sol, pourra dans certains cas favoriser par effet mécanique la mise en suspension de polluants dans la zone d'évolution de l'opérateur. L'opérateur peut alors être exposé à un apport d'air potentiellement chargé en polluant.

le moins de perte de charge. Si l'intervenant est en dehors de la zone ventilée par apport d'air neuf, il n'est plus protégé.

La recommandation R 447 précise que, avant de pénétrer en ouvrage, il convient de « ventiler mécaniquement l'ouvrage en soufflant en partie basse, sauf cas exceptionnel résultant d'une évaluation des risques, un débit d'air neuf et non pollué d'au moins dix volumes de l'espace confiné par heure. » De même, « dans le

cas des interventions susceptibles de libérer des gaz ou des vapeurs, l'air neuf doit être insufflé au plus près des intervenants et le débit doit être porté à 20 volumes de l'espace confiné par heure. »

Si le débit augmente de 10 volumes par heure à 20 volumes par heure, pour un diamètre de conduit identique, la vitesse est doublée. L'air est alors évacué deux fois plus vite. Dans ce cas, comme une ventilation avec un taux de renouvellement de 10 volumes par heure pendant 20 minutes a déjà été effectuée et que les contrôles d'atmosphère ont été réalisés avant de pénétrer, l'augmentation de la vitesse d'air en ouvrage permet d'évacuer le plus vite possible les éventuels polluants libérés par l'activité des opérateurs. Comme les ouvrages sont ventilés par introduction d'air neuf, les polluants issus de l'ouvrage sortent de façon naturelle par le deuxième tampon. Celui-ci est donc à considérer comme une source possible de polluants pour d'éventuels opérateurs évoluant à proximité. Le surveillant doit veiller à sa sécurité, et donc ne pas stationner dans le flux d'air sortant. Il doit rester dans une zone sécurisée, tout en assurant ses fonctions. Il est possible de l'équiper avec un détecteur de gaz.

POUR EN SAVOIR +

- R 447 – Prévention des accidents lors des travaux en espaces confinés. Recommandation adoptée par le Comité technique paritaire CTN-C de la Cnam le 25 juin 2009.

- R 472 – Mise en œuvre du dispositif CATEC® dans le domaine de l'eau potable et de l'assainissement. Recommandation adoptée par le Comité technique paritaire CTN-C de la Cnam le 19 novembre 2012.

Recommandations Cnam accessibles sur :

https://www.ameli.fr/entreprise/tableau_recommandations

- Brochures INRS :

ED 6088 – Détecteurs portables de gaz et de vapeur – Guide de bonnes pratiques pour le choix, l'utilisation et la vérification. .

ED 116 – Les explosimètres.

ED 695 – Principes généraux de ventilation.

ED 703 – Guide pratique de ventilation n°8 – Ventilation des espaces confinés.

ED 6106 – Les appareils de protection respiratoire – Choix et utilisation.

- Article : GALLAND B. – Étude et évaluation de détecteurs individuels de sécurité « quatre-gaz » à bas coût. *Hygiène & sécurité du travail*, 2022, 267, NT 100, pp. 70-78.

- Dossier Web : Espaces confinés.

Page éditoriale Web : Formations confiées à des organismes habilités.

La démultiplication pour un plus grand nombre de salariés formés.

Accessibles sur : www.inrs.fr (pages « Publications et outils » ;

« Risques » Environnements spécifiques de travail » ; et « Formations »).

Synthèse

Chaque année, des accidents graves se produisent lors d'interventions en espaces confinés. Ces interventions présentent de nombreux risques et doivent donc être préparées en amont, notamment par une évaluation des risques pertinente, tenant compte de l'environnement de travail et de l'opération à réaliser.

Concernant plus particulièrement le risque chimique, les bonnes pratiques pour intervenir en sécurité dans ces espaces du domaine de l'eau et de l'assainissement, reposent en synthèse sur :

- le bon usage d'une ventilation mécanique ;
- la bonne mise en œuvre de la détection et des appareils de protection respiratoire.

Fort de ces constats et à partir de leurs pratiques, les acteurs du domaine de l'eau et de l'assainissement, avec l'aide du réseau AM-RP et de l'INRS, ont souhaité formaliser et concevoir ensemble un dispositif de formation des personnels intervenant en espaces confinés dans les métiers de l'eau et de l'assainissement (Cf. *En savoir plus*). Le contenu de cette formation reprend l'ensemble des bonnes pratiques décrites précédemment, et qui sont synthétisées sur la *Figure 2*. Pour pouvoir être mise en œuvre, diminuer les risques d'accidents et limiter les conséquences dommageables pour la santé et la sécurité des salariés, cette organisation doit s'intégrer à une démarche de prévention globale. Celle-ci vise notamment à confier à des personnes, formées et

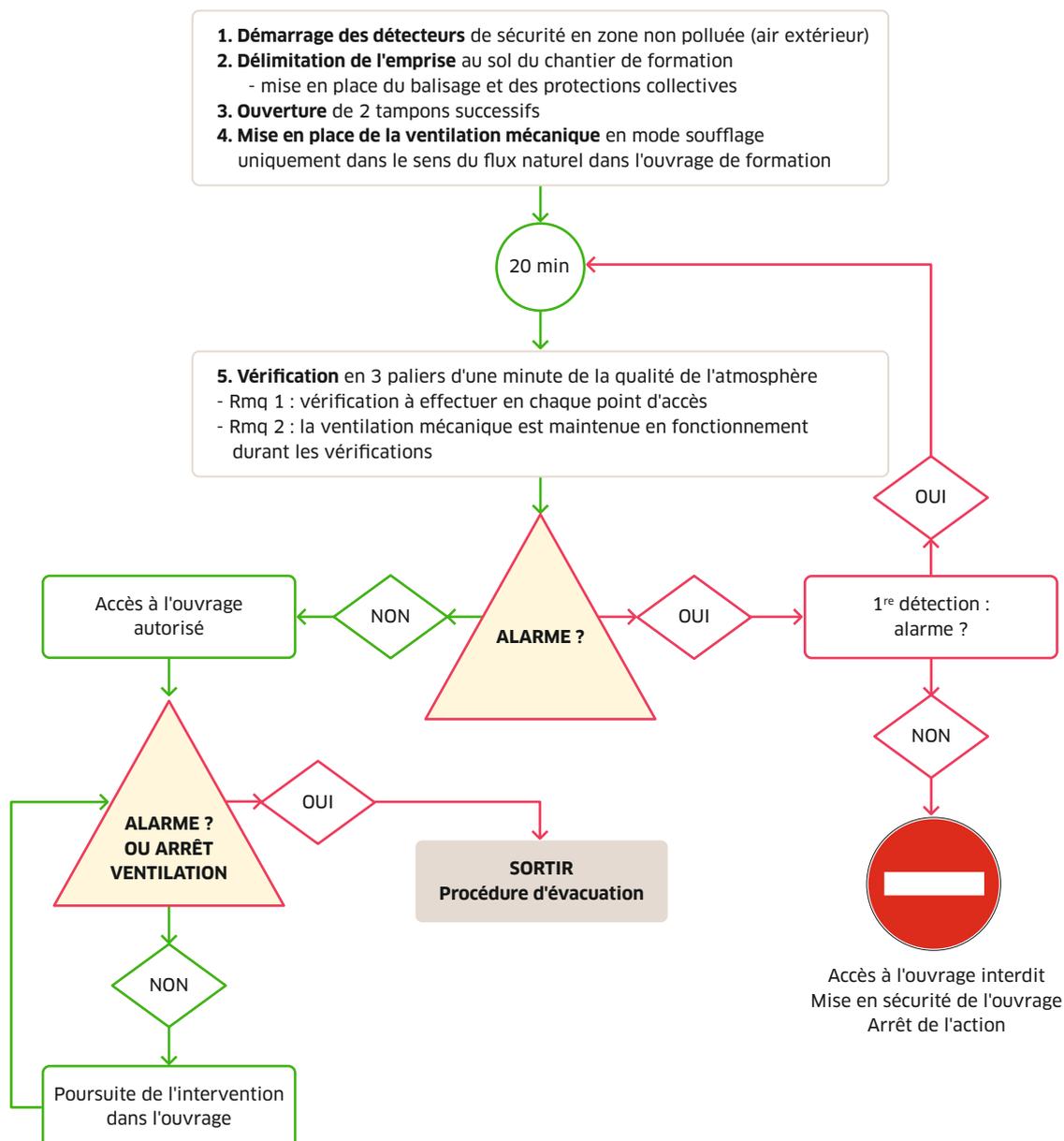
équipées, les activités pour lesquelles une évaluation des risques aura préalablement été réalisée. ●

1. *Certificat d'aptitude à travailler en espaces confinés. Marque déposée à l'INPI (Institut national de la propriété intellectuelle) par la Cnam. Dans la suite de l'article, il est écrit, hors citations, avec l'orthographe française appliquée aux marques : Catec.*

2. *Caisse nationale de retraite des agents des collectivités locales.*

3. *En conformité avec les dispositions du Code du travail concernant les obligations de l'employeur en matière de prévention des risques, et notamment les articles L. 4121-1 et suivants.*

4. *Sur les cas particuliers, voir notamment la R 447 et les brochures ou le site Web de l'INRS. Cf. En savoir plus.*



↑ FIGURE 2 Synoptique d'intervention dans un ouvrage de type espace confiné.

Étude de cas

VIOLENCES EXTERNES EN SERVICES D'URGENCES HOSPITALIÈRES : ÉCLAIRAGE THÉORIQUE ET PRATIQUE POUR LA PRÉVENTION

CORINNE VAN DE WEERDT
INRS,
département
Homme
au travail

LAURE
LE DOUCE
Cnam,
Direction
des risques
professionnels

→ **LA PROBLÉMATIQUE :** Les violences au travail sont, de manière générale, en augmentation. Dans le secteur hospitalier, les enquêtes réalisées révèlent que les services d'urgences sont particulièrement touchés. Cette réalité n'est cependant pas spécifique aux métiers du secteur de la santé, toute profession rendant un service étant également concernée par ce fait de société. Les auteurs de violence peuvent être n'importe quel citoyen, parfois inquiet, anxieux ou souffrant. Cet article vise à apporter un éclairage théorique et pratique pour la prévention des violences externes dans les services d'urgences. Il a consisté en un travail de synthèse issu de l'analyse de la littérature et d'un recensement des bonnes pratiques mises en place dans plusieurs établissements.

→ LA RÉPONSE DE L'INRS ET DE LA CNAM :

Face aux phénomènes de violence externe, l'INRS et la Cnam proposent un outil pour situer les différentes actions de prévention, qui tient compte de quatre dimensions imbriquées : préventive, organisationnelle, collective et temporelle. Cet outil aide, non seulement, à penser la prévention de façon intégrée, grâce à la prise en compte simultanée de ces quatre dimensions, et en apportant la possibilité d'articuler les actions entre elles, mais également, à la prise de décision, dans une perspective de gestion de la prévention.

Contexte

La violence externe, qui se caractérise, selon l'Agence européenne pour la sécurité et la santé au travail (EU-OSHA, Bilbao), par des « insultes, menaces, agressions physiques ou psychologiques, exercées contre un salarié sur son lieu de travail, par une ou des personnes extérieures à l'entreprise, mettant en péril sa santé, sa sécurité ou son bien-être »,

est un phénomène en augmentation [1]. La Dares a montré une progression importante entre 2003 et 2010 [2]. Selon les enquêtes Sumer¹ qu'elle a réalisées, les salariés, tous secteurs confondus, ont signalé subir de plus en plus fréquemment des comportements hostiles ou ressentis comme tels. Ce nombre est passé de 16 % en 2003 à 22 % en 2010. Cette progression concerne particulièrement : les comportements méprisants (+ 5 %) et les atteintes dégradantes (+ 1 %). Cette augmentation



© Guillaume J. Plisson pour l'INRS/2017

de la violence externe a été confirmée par l'enquête de la Fondation européenne de Dublin [3] : 17 % des salariés français ont déclaré avoir subi des violences verbales en 2003 contre 22 % en 2009.

Le secteur hospitalier est directement concerné. Si l'on considère les données issues de l'Observatoire national des violences en milieu de santé (ONVS), le dernier rapport indique un nombre toujours plus important d'incidents déclarés [4]. Cet observatoire reçoit les signalements et les faits de violence en établissements sur la base du volontariat depuis 2005. En 2016, 360 établissements ont déclaré plus de 17 000 signalements ; en 2017, ce sont 446 établissements qui en ont déclaré plus de 22 000 ; en 2018, les signalements dépassaient les 23 000, et en 2019, ils approchaient des 24 000.

Les données de l'ONVS de 2020 laissent apparaître que les services d'urgences sont particulièrement touchés par les violences externes : 16 % des déclarations concernent ces services. Les auteurs des faits sont pour 70 % des patients, et pour 18 % des visiteurs et des accompagnants (12 % autres). Le motif le plus relaté est un reproche relatif à la prise en charge du patient (dans 65 % des cas), puis vient le temps d'attente (11 %). La gestion des cas de violence externe est le plus souvent directement traitée par l'intervention du personnel hospitalier (56 %), puis par du personnel de sécurité (24 %).

Afin de pouvoir apporter une aide à la prévention des violences externes dans le secteur hospitalier, et dans les services d'urgences, un outil a été développé pour accompagner le choix des mesures à implémenter.

Cadre théorique

La violence externe

La violence au travail est définie par le Bureau international du travail (BIT) comme « *toute action, incident ou comportement qui s'écarte d'une attitude raisonnable par lesquels une personne est attaquée, menacée, lésée, ou blessée dans le cadre du travail ou du fait de son travail* » [5]. Les violences externes et internes sont considérées pour cette instance comme deux phénomènes intimement liés et sont donc traitées de façon commune (Cf. Encadré).

Une distinction est cependant souvent opérée dans les définitions entre la violence externe et la violence interne. C'est le cas notamment de l'EU-OSHA [1] qui distingue ces deux formes de violence. Les différentes formes de violences externes identifiées sont les suivantes : les violences dites de « prédation » (régie par le désir de prendre : « *je veux, je prends* ») ; les actes de destruction ou de dégradation ; les agressions physiques ; les agressions verbales et les incivilités [7-9].

Le contexte sociétal d'extension des incivilités et des violences au monde du travail n'est pas spécifique au secteur de la santé, mais celui-ci n'échappe

ENCADRÉ

DÉFINITION PAR L'ANI

L'accord national interprofessionnel (ANI) sur le harcèlement et la violence au travail de 2010 [6] stipule que la violence au travail se produit lorsqu'un ou plusieurs salariés sont agressés dans des circonstances liées au travail. Cela peut aller du manque de respect jusqu'à la manifestation de la volonté de nuire, voire de détruire.

Les violences englobent des actes comportant différents niveaux de gravité, comme les incivilités entraînant une dégradation des conditions de travail et rendant la vie en commun difficile, ou les agressions qui peuvent être verbales, comportementales, sexistes, physiques.

Le but ou l'effet est de porter atteinte à la dignité d'un salarié, affectant ainsi sa santé et sa sécurité et/ou créant un environnement de travail hostile.

Le stress au travail découlant de facteurs organisationnels ou psychosociaux peut être à l'origine de la violence.

pas à cette tendance de société, comme toute profession rendant un service [9-12].

L'environnement socioculturel actuel se caractérise par de l'intolérance à la frustration, de l'impatience, un contexte culturel individualiste, celui de la satisfaction immédiate, du « *J'y ai droit* », etc. Les réactions peuvent être aggravées sous l'emprise de l'alcool, de médicaments, de produits stupéfiants, etc., comme cela est spécifié dans le dernier rapport de l'ONVS [3].

Les atteintes pour les victimes peuvent être physiques, dont l'échelle de gravité dépend des lésions. Elles peuvent être psychologiques, entraîner parfois des réactions immédiates (comme une sidération psychique, un état d'agitation, une fausse sérénité, etc.) ou différées (comme un trouble de stress post-traumatique², dont les signes peuvent être des changements d'humeur, de la détresse, de l'hypervigilance, des reviviscences, des évitements ciblés de situations, etc.). Outre les atteintes à la personne, les cas de violence peuvent entraîner des conséquences importantes pour les organisations : un absentéisme en hausse, une image sociale atteinte, un climat social dégradé, un engagement des responsabilités pénale et/ou civile des acteurs.

Les mesures de prévention

Plusieurs mesures de prévention spécifiques à la violence externe ont été élaborées pour aider les organisations à anticiper ou gérer cette violence. Si une recommandation sur la prévention





© Patrick Delapierre pour l'INRS/2020

Ateliers didactiques et pratiques de prévention des agressions dans un centre hospitalier - Ici, initiation aux postures d'esquive inspirées par l'aïkido.

La méthodologie utilisée a consisté en plusieurs étapes :

- procéder à un repérage des hôpitaux ayant appliqué des mesures de prévention durant ces cinq dernières années ;
- recueillir des données sur l'origine des projets de prévention contre la violence, la qualité des intervenants en charge de mener ces projets (responsables de services, ergonomes ou chargés de prévention), la nature des actions menées et la façon dont elles ont été déployées ;
- récolter des données sur les effets produits à partir d'analyses de documents (au nombre de 6) et d'évaluations qualitatives orales (par entretien) ou écrites (par analyse de rapports) réalisées par des ergonomes (4), des chargés de prévention (5), un responsable de service (1) et des personnels soignants (11) ;
- dégager les caractéristiques des situations de violence typiques des urgences pour les analyser selon différents niveaux (macro,- méso- et micro-) sur la base du modèle de prévention des violences au travail [14-b] ;
- synthétiser les résultats obtenus, afin de pouvoir adapter le modèle de recherche et d'intervention proposé par Favaro et Marc [14-a] au cas spécifique des urgences ;
- utiliser le modèle de recherche et d'intervention adapté pour y dégager les dimensions essentielles à considérer dans le cadre d'une démarche ergonomique de prévention ;

- élaborer une représentation graphique pour constituer un outil d'aide à la décision dans la gestion de la prévention des violences externes ;
- présenter et valider l'outil auprès d'instances représentatives d'établissements hospitaliers (lors de deux Comités techniques nationaux (CTN) dédiés à la prévention des risques professionnels de ce secteur rassemblant des responsables de services, des représentants du personnel, des syndicats, des chargés de prévention).

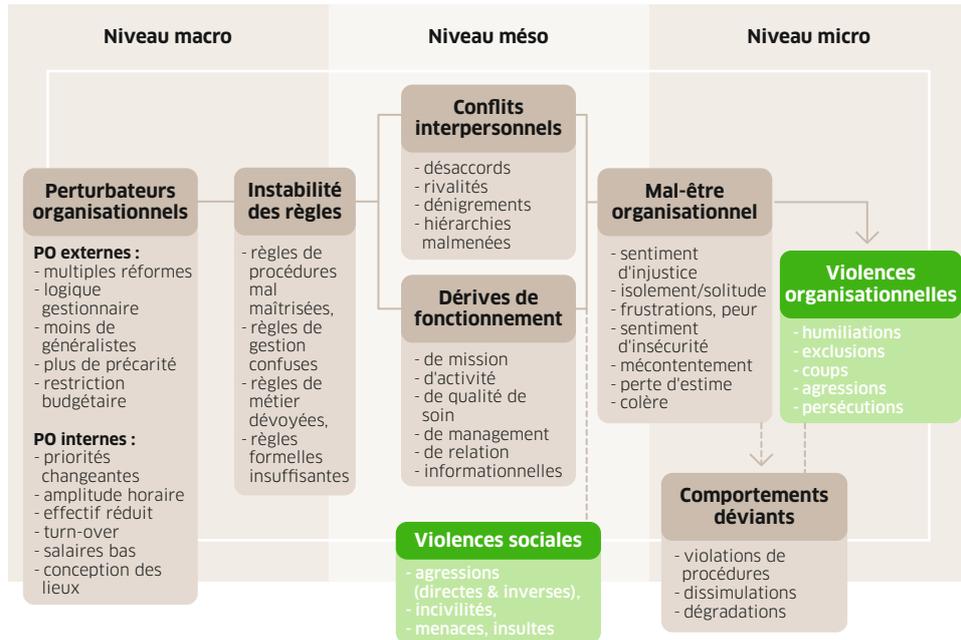
Sept établissements hospitaliers situés à Paris et en région parisienne ont constitué l'échantillon de cette étude. Trente-quatre actions de prévention ont été documentées.

Résultats

L'adaptation du modèle multi-niveaux [14] aux services d'urgences hospitaliers réalisée, sur la base de la littérature scientifique ciblée sur le secteur hospitalier, fait apparaître les spécificités des dynamiques en jeu dans les hôpitaux qui peuvent amener à de la violence externe dans ces services (Cf. Figure 3). Le modèle adapté aux services d'urgences permet non seulement de caractériser les facteurs et les effets de la violence externe, mais aussi d'articuler les différents indicateurs internes ou organisationnels de façon à rendre compte de la dynamique et des mécanismes en jeu [20-25]. Cette représentation graphique offre l'intérêt de mettre en lumière les forces qui s'exercent à chaque niveau et de relier les causes multiples,



Illustration avec le cas des urgences



↑ FIGURE 3 Application du modèle multi-niveaux de recherche et d'intervention pour l'analyse et la prévention de la violence au travail au cas des urgences hospitalières.

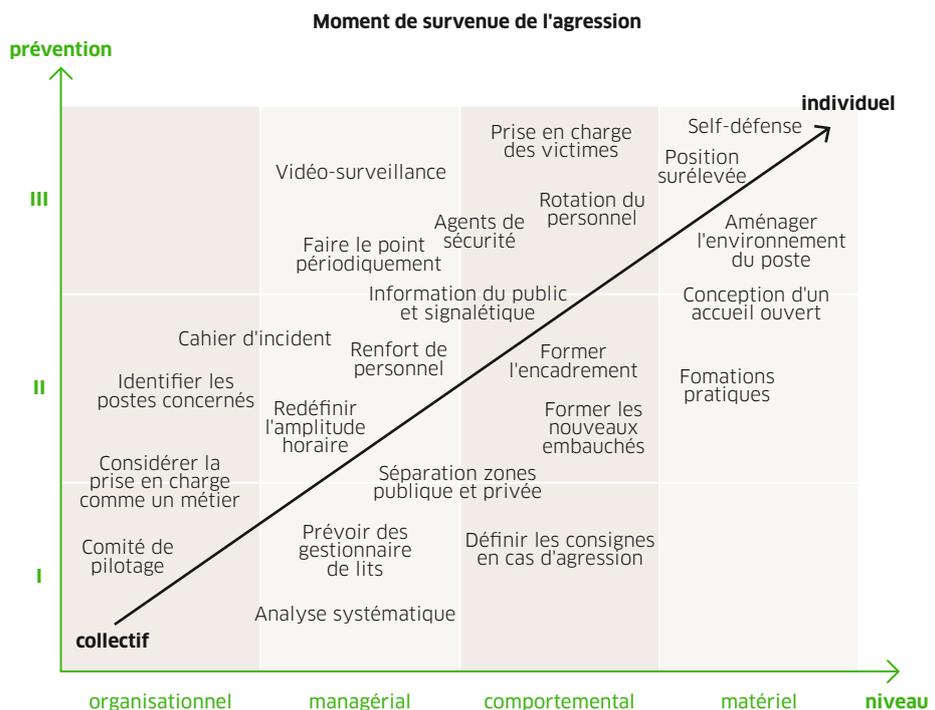
de façon à les articuler. Elle fait figurer les interrelations et explique de façon dynamique l'émergence des phénomènes de violence au travail. À partir de là, un outil a été élaboré et proposé à différentes instances et établissements (Cf. Figure 4). Rappelons qu'il a été conçu à partir de l'application du modèle présenté en Figure 3, et du recensement des actions et mesures de prévention relatées dans

des travaux scientifiques récents et des articles de presse. Cet outil présente l'avantage de positionner les actions de prévention répertoriées selon quatre dimensions qui sont apparues comme essentielles à l'analyse.

Ces quatre dimensions sont :

- la nature de l'action de prévention : primaire, secondaire et tertiaire ;

FIGURE 4 → Outil d'aide à la hiérarchisation des mesures de prévention de la violence externe dans les services d'urgences hospitalières selon quatre dimensions indissociables.



- le positionnement des actions de prévention sur des continuums en fonction de leur visée organisationnelle, managériale, comportementale ou matérielle ;
- le moment de survenue de l'agression qui permet d'anticiper l'acte de violence s'il n'est pas encore apparu ou d'y réagir s'il est déjà survenu ;
- la nature collective ou individuelle de l'action.

Cet outil permet de placer les actions en considérant ces différentes dimensions, mais également en envisageant des zones de recouvrement possible entre elles, ce qui reflète au plus près la réalité des phénomènes. Il constitue ainsi un outil d'aide à la décision pour la gestion de la prévention.

L'outil ayant vocation à évoluer, une deuxième version a été proposée et testée en séance auprès de différentes instances (Cf. Figure 5). Il a été notamment discuté lors de réunions de représentants des établissements hospitaliers, dans le cadre de commissions des CTN dédiés à la prévention des risques professionnels de ce secteur. Cette version comporte un ensemble plus complet d'actions de prévention, qui pourra encore être enrichi avec l'ajout de nouvelles mesures, afin de faire vivre l'outil et de l'actualiser au fil du temps.

Le positionnement de chacune des actions a été discuté entre les participants aux réunions pour pouvoir les placer de façon concertée sur le graphique, en tenant compte des quatre dimensions associées. S'il apparaît qu'au cours d'une séance de travail collectif dans un établissement, ayant pour but de déterminer quelles actions et mesures de prévention sont à envisager, le graphique se remplit

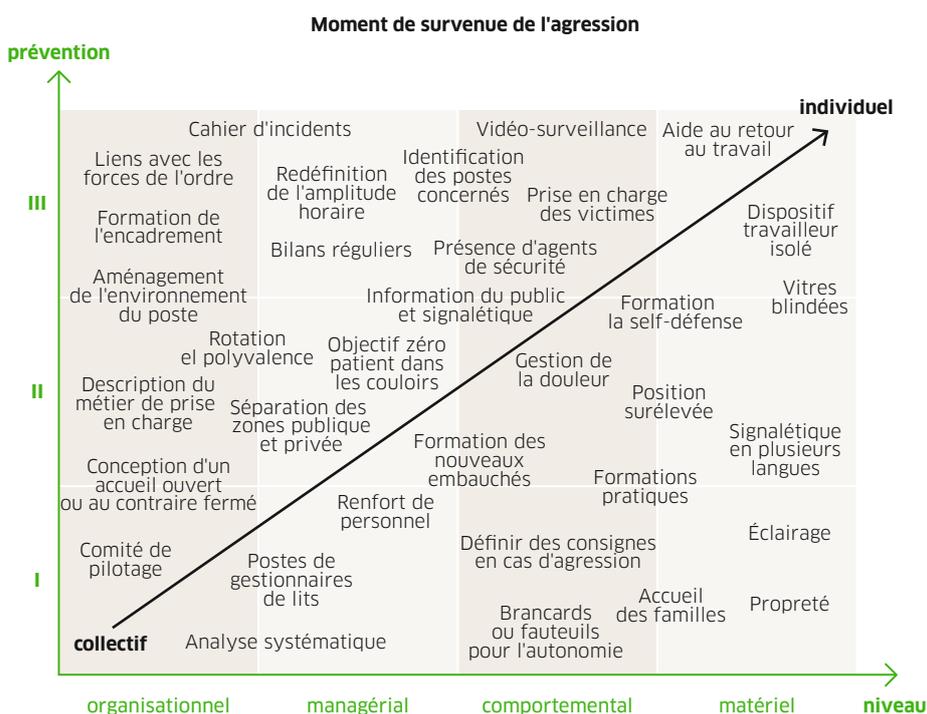
de façon hétérogène, laissant des zones pleines et d'autres vides, l'outil permettra d'aider à percevoir que d'autres types d'action méritent d'être envisagées pour parvenir à une prévention qui soit complète et intégrée.

Néanmoins, il convient de préciser que toutes les actions de prévention n'offrent pas les mêmes garanties, en matière de prévention de la violence. Même si tous les niveaux sur les quatre axes sont aussi importants à exploiter, et sont complémentaires, les actions positionnées sur le graphique qui se rapprochent le plus de l'angle situé « en bas à gauche » auront plus de chance d'obtenir une efficacité plus grande au niveau de la gestion de la violence externe. En effet, il est probable que les actions qui privilégient la prévention primaire, l'organisation, la dimension collective et l'anticipation de la survenue des agressions seront celles qui gagneront en efficience sur le long terme. Mais cela n'enlève rien au caractère complémentaire des actions de prévention, vouées à gérer les situations de violence. Une implémentation d'actions de prévention visant idéalement tous les niveaux du graphique ne peut qu'être encouragée.

Discussion

L'outil élaboré comporte cinq avantages sur le plan de la recherche et de l'application en prévention.

- Le premier se situe au niveau de la représentation graphique qui offre une vue intégrée réunissant les quatre dimensions fondamentales. Elle permet ainsi de considérer en même temps un nombre important d'actions, et de mettre en exergue



← FIGURE 5 Exemple de hiérarchisation de mesures de prévention de la violence externe dans les services d'urgences hospitalières en vue de leur implémentation. Les actions et mesures qui nécessitent du temps pour être mises en place et qui concernent un ensemble de salariés en même temps sont positionnées vers la partie gauche du graphique. Par contre, les actions et mesures qui nécessitent un aménagement physique ou matériel et qui s'adressent à un salarié à la fois se situent plutôt vers la droite de la figure.



Praticiens hospitaliers urgentistes intervenant en salle d'urgence vitale.

© Gael Kerbaol/INRS/2015

leurs enjeux propres compte tenu des différents niveaux investis.

- Le deuxième avantage est lié au fait que l'outil donne la possibilité d'articuler les actions de prévention entre elles, de façon à laisser apparaître rapidement quel niveau est particulièrement exploité. Par exemple, si le graphe laisse entrevoir une zone plus remplie qu'une autre, cela signifie que les actions sont davantage pensées selon un certain angle, dans un objectif bien précis, et dans une perspective déterminée, alors que d'autres niveaux de prévention sont absents ou sous-représentés.
- Le troisième avantage concerne le partage des connaissances entre les participants aux réunions, l'usage d'un outil concret facilitant les échanges sur les actions de prévention et leur rôle. Cet outil concret incite en effet à la prise de décision, individuelle ou collective, puisque les différentes actions nécessitent d'être placées sur le graphe.
- Le quatrième avantage est de favoriser la co-construction d'une démarche de prévention concertée. Le placement des actions sur le graphique, réalisé en séances de travail, incite à la mise en commun, la discussion, l'argumentation et la justification. Ce travail collectif participe à

la mobilisation d'une pensée réflexive et à la co-production d'une démarche préventive élaborée en toute connaissance de causes.

- Enfin, le cinquième avantage est d'offrir la possibilité de dégager quasi immédiatement les enjeux des différentes mesures examinées et de décider collectivement d'une hiérarchisation des actions à appliquer. L'articulation des axes de manière intégrée se prête particulièrement bien à cet exercice. La représentation graphique devient donc un élément-clé à la coconstruction de la démarche de prévention à déployer, mais aussi un outil didactique, visant à démontrer visuellement les intérêts de telle ou telle action de prévention.

Conclusion - Mise en perspective

L'éclairage théorique et pratique apporté ici tient à l'application du modèle expliquant les phénomènes de violences externes dans les services d'urgences d'établissements hospitaliers. Il tient également à l'apport d'un outil destiné à organiser des mesures de prévention applicables pour gérer les situations problématiques de violence. Cet outil a également pour vocation de hiérarchiser les mesures de prévention. En effet, puisque les mesures qui s'inscrivent dans une démarche de prévention primaire, organisationnelle, collective, et anticipatrice de la survenue des agressions sont celles qui ont le plus de chance d'être efficaces, on peut considérer que l'outil sert aussi à les hiérarchiser.

L'outil et la démarche associée comportent plusieurs avantages, qui ont été explicités.

Ainsi, il a été constaté lors de cette étude que le modèle adapté proposé constitue un outil d'aide à la décision qui non seulement, permet d'analyser

POUR EN SAVOIR +

• OIT – *Rapports de la Commission normative sur la violence et le harcèlement dans le monde du travail : instruments soumis à la Conférence pour adoption.*

In : Conférence internationale du travail, 108^e session, Genève, 2019.

et d'envisager concrètement la gestion de la prévention, mais qui fournit aussi un objet de débat, que l'on pourrait qualifier « d'intermédiaire » pour amener à des décisions partagées, des controverses, des compromis. Il paraît intéressant, tant pour la recherche que pour les pratiques, dans la mesure où il comporte le statut d'outil de discussion et de décision, pour déterminer quelle est la prévention la mieux adaptée à déployer, compte tenu du contexte de l'établissement hospitalier. Il s'agira par la suite d'évaluer l'outil dans le contexte des services des urgences, à partir de plusieurs utilisations sur le terrain, à des fins de validation

sur le terrain mais également d'amélioration. Des actions de communication seront à déployer pour faire connaître encore plus largement son existence et le rendre ainsi pleinement opérationnel. ●

1. Les enquêtes « Sumer » (surveillance médicale de l'exposition aux risques des salariés), déclaratives, sont réalisées par les médecins du travail, et comprennent un volet dédié aux risques psychosociaux. En savoir plus : <https://www.inrs.fr/media.html?refINRS=TF%20273> (ndlr).

2. L'exposition à un événement traumatique (dont une agression) peut engendrer des séquelles psychologiques importantes chez les personnes qui en ont été victimes ou témoins. Lorsque celles-ci persistent, on parle de syndrome de stress post-traumatique (SSPT).

BIBLIOGRAPHIE

[1] **AGENCE EUROPÉENNE POUR LA SÉCURITÉ ET LA SANTÉ AU TRAVAIL** – *La violence au travail*, 2002, réf. TE-02-02-004-FR-D.

[2] **DARES** – L'évolution des risques professionnels dans le secteur privé entre 1994 et 2010. *Dares analyses*, 2012, n°023, pp. 1-10.

[3] **FONDATION EUROPÉENNE POUR L'AMÉLIORATION DES CONDITIONS DE VIE ET DE TRAVAIL** – *Violence and harassment in european workplaces: causes, impacts and policies*. European Foundation for the Improvement of Living and Working Conditions, Dublin, 2015.

[4] **ONVS** – *Rapports 2017 à 2020 de l'Observatoire national des violences en milieu de santé*. Ministère des Solidarités et de la Santé, Direction générale de l'offre de soins, 2017, 2018, 2019, 2020.

[5] **BIT** – *Recueil de directives pratiques sur la violence au travail dans le secteur des services et mesures visant à combattre ce phénomène*. Genève, Organisation internationale du travail, réf. MEVSW/2003/11, 2003.

[6] **ACCORD NATIONAL INTERPROFESSIONNEL (ANI)** du 26 mars 2010 sur le harcèlement et la violence au travail. Accessible sur : <https://travail-emploi.gouv.fr/IMG/pdf/accord-harcelement-violence-2010-2>.

[7] **MOREAU S., GUYOT S., LANGEVIN V., VAN DE WEERDT C.** – *Quand travailler expose à un risque d'agression : des incivilités aux violences physiques*. INRS, 2010, Note scientifique et technique, NS 288. Accessible sur : www.inrs.fr.

[8] **GUYOT S.** – Décryptage : violence externe : de quoi parle-t-on ? *Hygiène & sécurité du travail*, 2014, 236, pp. 6-10. Accessible sur : www.hst.fr.

[9] **BONDÉLLE A. ET AL.** – Dossiers : Violences externes et incivilités au travail. *Travail & sécurité*, février 2014, 747, pp. 14-25.

Professions en contact avec le public. *Travail & sécurité*, décembre 2015, 767, pp. 15-29. Accessibles sur : www.travail-et-securite.fr/.

[10] **ARNETZ J., ET AL.** – Organizational determinants of workplace violence against hospital workers. *Journal of occupational and environmental medicine*, 2018, 60 (8), p. 693.

[11] **EBRAHIM S.M., ISSA S.S.** – Workplace violence against nursing staff working in emergency departments at general hospitals in Basra City. *Indian journal of public health*, 2018, 9 (6), p. 240.

[12] **PELLETIER M., LIPPEL K., VEZINA M.** – *La violence en milieu de travail*. In : Laforest J., Maurice P., Bouchard L.M. (Dir.) – *Rapport québécois sur la violence et la santé*. Québec, Institut national de santé publique du Québec, 2018. Accessible sur : www.inspq.qc.ca/rapport-quebecois-sur-la-violence-et-la-sante/la-violence-en-milieu-de-travail.

[13] **CARSAT LANGEDOC-ROUSSILLON** – Recommandation T 16 – *Prévention du risque d'agression des salariés en contact avec le public*, 2015.

[14-a] **FAVARO M., MARC J.** – Présentation et modalités pratiques de mise en œuvre d'un modèle de prévention des violences au travail. *Hygiène & sécurité du travail*, 2018, 155, pp. 25-37. Accessible sur : www.hst.fr.

[14-b] **FAVARO M.** – *Mécanismes organisationnels de formation des violences au travail. Proposition d'un modèle-cadre pour comprendre et intervenir*. INRS, 2014, coll. Notes scientifiques et techniques, NS 320. Accessible sur : www.inrs.fr.

[15] **BAUMANN C., FAVARO M., MARC J., PATY B.** – Gestion des violences internes en milieu professionnel : comment déterminer les indicateurs organisationnels de risque ? Développement et expérimentation dans un organisme de gestion de contrats d'assurance. *Psychologie du travail et des organisations*, 2019, 25 (4), pp. 269-280.

[16] **BERENGIER J. ET AL.** – *Guide de conception en ergonomie des situations d'accueil*. In : AIST, Santé au travail Provence, Ametra 06, Présanse, Santé prévention au travail, 2015.

[17] **DIRECTION DE L'AP-HM** – *30 mesures pour garantir la sécurité des personnels de l'AP-HM*. Assistance publique – Hôpitaux de Marseille, Plan de la prévention de la violence, 2013.

[18] **ENIAFE-EVEILLARD B.** – *Gestion de la violence en milieu hospitalier*. In : Journées du printemps de la SMSTO « Les métiers d'aide à la personne », CHRU de Brest, 2010.

[19] **GONZALEZ A. ET AL.** – Prévention et accompagnement des situations d'agressivité et de violence au CHU de Bordeaux. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement*, 2018, 79 (3), pp. 448-449.

[20] **BREME V. ET AL.** – Prévention et gestion de la violence en milieu hospitalier : quel rôle pour le cadre ? *Soins cadres*, 2012, 84, pp. 22-24.

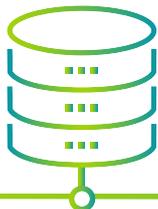
[21] **REDDY I.R. ET AL.** – Violence against doctors: a viral epidemic? *Indian journal of psychiatry*, 2019, 61 (Suppl. 4), S782.

[22] **ESCRIBANO R.B. ET AL.** – Violence in the workplace: some critical issues looking at the health sector. *Heliyon*, 2019, 5 (3), e01283.

[23] **BULA S. ET AL.** – *The presence of violence at work of health care personnel and their work ability*. Communication au SHS Web of Conferences, 2018.

[24] **LI J.B. ET AL.** – Anger rumination partly accounts for the association between trait self-control and aggression. *Journal of research in personality*, 2019, 81, pp. 203-223.

[25] **CASALINO E. ET AL.** – La violence dans les services d'urgences : évaluation d'une politique de réduction de la violence dans un service d'accueil des urgences parisien. *Annales françaises de médecine d'urgence*, 2015, 5, pp. 226-237.



Base Colchic

La base de données d'exposition professionnelle aux agents chimiques Colchic regroupe l'ensemble des mesures d'exposition effectuées sur les lieux de travail par les huit laboratoires interrégionaux de chimie (LIC) des Carsat/Cramif et les laboratoires de l'INRS. Elle est gérée par l'INRS et a été créée en 1987 à l'initiative de la Caisse nationale de l'assurance maladie (Cnam).

À ce jour, Colchic compte plus d'un million de résultats pour 745 agents chimiques.

PORTRAIT DE L'EXPOSITION AUX SUBSTANCES CHIMIQUES VISÉES PAR LES MISES À JOUR DES VALEURS LIMITES D'EXPOSITION PROFESSIONNELLE RÉGLEMENTAIRES EN 2021

En 2021, trois décrets et deux arrêtés ont fixé ou modifié des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) pour 22 substances chimiques. Cet article présente un portrait des niveaux d'exposition à ces substances, mesurés dans les milieux de travail français entre 2012 et 2021 et enregistrés dans la base de données Colchic.

Nouvelle réglementation

En 2021, cinq textes réglementaires ont modifié les valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) pour 22 substances. Le décret n° 2021-434 du 12 avril 2021¹ et l'arrêté du 3 mai 2021² ont complété la mise à jour des VLEP pour six substances cancérigènes visées par la directive européenne n° 2019/130 du 16 janvier 2019³ concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des substances cancérigènes ou mutagènes au travail. Le décret fixe des VLEP sur 8 heures (VLEP-8h) réglementaires contraignantes pour le 1,2-dichloroéthane, l'épichlorhydrine et le trichloroéthylène; cette dernière substance étant également visée par une nouvelle VLEP court-terme (VLEP-CT) sur une durée de quinze minutes. Ces VLEP ont été mises en application le 1^{er} juin

2021. L'arrêté a fixé quant à lui des VLEP-8h indicatives réglementaires pour le dibromure d'éthylène et le 4,4'-méthylènedianiline, applicables à partir du 1^{er} juillet 2021, et pour les fumées d'échappement de moteurs diesel à partir du 21 février 2023 pour tous les secteurs, à l'exception de l'extraction souterraine et du forage de tunnels. Un article précédent, paru en 2021 [1], a traité d'autres substances concernées par des changements de VLEP dans le cadre de cette directive européenne.

Le décret n° 2021-1849 du 28 décembre 2021⁴ et l'arrêté du 9 décembre 2021⁵ ont fixé de nouvelles VLEP dans le cadre d'une harmonisation avec les directives européennes n°s 2019/983 du 5 juin 2019⁶ et 2019/1831 du 24 octobre 2019⁷. À l'instar des émissions de diesel, l'application de certaines VLEP-8h fixées par ces textes présentent quelques

JEAN-FRANÇOIS SAUVÉ, GAUTIER MATER
INRS, département Métrologie des polluants

Un biais d'interprétation est susceptible d'être introduit lors de l'exploitation des bases de données nationales d'exposition professionnelle telles que Colchic. En effet, ces bases n'ont pas été conçues dans le but d'être représentatives de l'ensemble des travailleurs ou d'un secteur professionnel donné.

particularités : la VLEP-8h pour l'acide arsénique et ses sels est entrée en application le 1^{er} janvier 2022 pour l'ensemble des secteurs, à l'exception de la fusion du cuivre (applicable au 11 juillet 2023), tandis que les composés du béryllium et du cadmium ont des VLEP-8h transitoires (0,0006 mg/m³ applicable jusqu'au 11 juillet 2026 pour le béryllium, avant de passer à 0,0002 mg/m³, et 0,004 mg/m³ jusqu'au 11 juillet 2027 pour le cadmium, avant de passer à 0,001 mg/m³).

Finalement, le décret n° 2021-1763 du 23 décembre 2021, portant modification des concentrations moyennes en poussières totales de l'atmosphère inhalée et alvéolaires dans les locaux à pollution spécifique, abaisse ces concentrations moyennes en poussières sans effets spécifiques de 10 mg/m³ à 4 mg/m³ pour la fraction inhalable (concentration transitoire de 7 mg/m³ jusqu'au 1^{er} juillet 2023) et de 5 mg/m³ à 0,9 mg/m³ pour la fraction alvéolaire (concentration transitoire de 3,5 mg/m³ jusqu'au 1^{er} juillet 2023). Toutes ces valeurs sont présentées dans le *Tableau 1*.

Données Colchic exploitées

Les données de la base Colchic ont été exploitées afin de fournir un portrait des niveaux d'exposition mesurés dans les milieux de travail français pour ces substances entre 2012 et 2021. L'exploitation des données a été limitée aux mesures individuelles ayant pour objectif la comparaison des expositions à une VLEP-8h, sur une durée minimale de 60 minutes, ou à une VLEP-CT sur une durée maximale de quinze minutes. Le prélèvement et l'analyse des échantillons devaient également être réalisés selon des méthodes référencées telles que celles de la base MétroPol[®]. L'exploitation des niveaux d'exposition aux poussières sans effets spécifiques n'a pas été considérée dans cet article, puisqu'elles ont fait l'objet d'un portrait publié récemment [2].

Dans le but de faciliter la comparaison des distributions des niveaux d'exposition entre différentes substances, des indices d'exposition (IE) ont été calculés. Les IE représentent le ratio entre la concentration mesurée et une VLEP – dans ce cas précis, les VLEP énumérées au *Tableau 1*. Par exemple, une mesure ayant une concentration supérieure à la VLEP aurait un IE supérieur à 1. Les IE ont été calculés pour chaque combinaison de substance et de VLEP. Les concentrations sous la limite de quantification (LQ) ont été fixées à LQ/2.

Portrait des niveaux d'exposition

Au total, 2970 mesures à l'une des douze substances chimiques ont été extraites de Colchic. Le *Tableau 2* présente pour chacune des substances le nombre de mesures, le pourcentage de mesures avec une concentration inférieure à la limite de quantification, la médiane et le 95^e centile des

concentrations, ainsi que le pourcentage de mesures dépassant la nouvelle et l'ancienne VLEP.

Près de la moitié des mesures concernaient l'évaluation de l'exposition sur huit heures à l'acétate de *n*-butyle (n = 1231). Les secteurs les plus fréquemment mesurés pour cette substance étaient la fabrication de peintures, vernis, encres et mastics (n = 228) et la fabrication de produits en plastique (n = 139). Seulement trois mesures montraient une concentration dépassant la nouvelle VLEP-8h, associées aux secteurs de la fabrication de peintures, vernis, encres et mastics, de la fabrication d'autres meubles et industries connexes de l'ameublement et de la fabrication d'équipements automobiles. Ont également été identifiées pour cette substance 130 mesures court terme, principalement dans les secteurs de la fabrication de peintures, vernis, encres et mastics (n = 35), de la fabrication d'équipements automobiles (n = 31) et le traitement et revêtement des métaux - usinage (n = 23).

Les mesures de cadmium (n = 497) et de béryllium (n = 211) présentaient des proportions de valeurs sous la limite de quantification d'au moins 80 %. Dans le cas du cadmium, cette proportion est plus élevée que le pourcentage estimé de concentrations dépassant la future VLEP-8h (52 %). Ainsi, le pourcentage de dépassement présenté dans le *Tableau 2* constitue vraisemblablement une surestimation. La tâche de soudage à l'arc électrique avait le plus grand nombre de dépassements de la future VLEP-8h pour le cadmium (n = 98), suivi de l'usinage (n = 20) et du soudage ou brasage aux gaz (n = 19). Quant au béryllium, 14 des 40 mesures dépassant la future VLEP-8h concernaient le décapage par sablage, tandis que le soudage à l'arc électrique avait le plus grand nombre de dépassements de la VLEP-8h transitoire (8 mesures sur 18).

La *Figure 1* présente la distribution par tâche des indices d'exposition aux fumées d'échappement de moteurs diesel sous forme de carbone élémentaire. Les tâches les plus fréquemment mesurées pour cette substance (478 mesures) étaient la réparation, la maintenance, le contrôle en atelier d'entretien ou sur site (119 mesures), l'assemblage, le montage sur chaîne ou non (53 mesures) et le travail en poste de péage de parkings, d'autoroutes, de station de vente de carburants (51 mesures). Vingt-deux mesures étaient associées à des tâches d'extraction ou de forage, qui font l'objet d'un délai de trois ans dans la mise en application de la VLEP. Soixante-huit pour cent de ces mesures avaient une concentration supérieure à la VLEP de 0,05 mg/m³, comparativement à 14 % pour les autres tâches répertoriées dans la base.

En ce qui concerne le trichloroéthylène, les secteurs ayant fait l'objet du plus grand nombre de mesures à des fins de comparaison à une VLEP-8h (94 mesures) incluaient la collecte de déchets (26 mesures)

(Suite de
l'article
p.76)
→

	N° CAS	VLEP-8h (mg/m³)		VLEP-CT (mg/m³)		Notation	Année et type de l'ancienne VLEP	FT
		Nouvelle	Ancienne	Nouvelle	Ancienne			
Décret n° 2021-434 du 12 avril 2021								
1,2-Dichloroéthane (dichlorure d'éthylène)	107-06-2	8,2	40			C1B, Peau	1987 (VINR)	54
Épichlorhydrine	106-89-8	1,9			10	C1B, Peau	1987 (VINR)	187
Trichloréthylène	79-01-6	54,7	405	164,1	1080	C1B, M2, Peau	1983 (VINR)	22
Arrêté du 3 mai 2021								
Échappement de diesel (en carbone élémentaire)		0,05 ¹						
Dibromure d'éthylène	106-93-4	0,8				C1B, Peau		86
4,4'-Méthylènedianiline	101-77-9	0,08				C1B, M2, Peau		218
Arrêté du 9 décembre 2021								
4-Aminotoluène	106-49-0	4,46		8,92		C2, Peau		
Aniline	62-53-3	7,74	10	19,35		C2, M2, Peau	1983 (VINR)	19
Chlorométhane	74-87-3	42	105		210	C2	1983 (VINR)	64
Trichlorure de phosphoryle	10025-87-3	0,064	0,6	0,12			1987 (VINR)	108
Acide arsénique et ses sels, ainsi que ses composés inorganiques (fraction inhalable)		0,01 ²						192
4,4'-Méthylènebis(2-chloroaniline) (fraction inhalable)	101-14-4	0,01	0,22			Peau	1986 (VINR)	292
Décret n° 2021-1849 du 28 décembre 2021								
Acétate d'isobutyle	110-19-0	241	710	723	940		1983 (VINR)	124
Acétate de <i>n</i> -butyle	123-86-4	241	710	723	940		1983 (VINR)	31
Acétate de <i>sec</i> -butyle	105-46-4	241	950	723			1987 (VINR)	
Alcool isoamylique	123-51-3	18	360	37			1987 (VINR)	206
Cumène (2-phényl-propane)	98-82-8	50	100	250	250	Peau	2007 (VRC)	
Triméthylamine	75-50-3	4,9		12,5	25	Allergisant	1982 (VINR)	
Béryllium et ses composés inorganiques (fraction inhalable)		0,0002 ³	0,002			C1B; Sensibilisation cutanée et respiratoire	1995 (VINR)	92
Cadmium et ses composés inorganiques (fraction inhalable)		0,001 ⁴	0,004			Certains composés classés CMR	2019 (VRI)	60
Décret n° 2021-1763 du 23 décembre 2021 (concentrations moyennes)								
Poussières sans effets spécifiques (fraction inhalable)		4 ⁵	10					
Poussières sans effets spécifiques (fraction alvéolaire)		0,9 ⁶	5					

1. Applicable à partir du 21 février 2023, à l'exception de l'extraction souterraine et le creusement de tunnels (en application à partir du 21 février 2026).
2. Applicable à partir du 11 juillet 2023 pour le secteur de la fusion du cuivre.
3. VLEP transitoire de 0,0006 mg/m³ en vigueur jusqu'au 11 juillet 2026.
4. VLEP transitoire de 0,004 mg/m³ en vigueur jusqu'au 11 juillet 2027.
5. Concentration moyenne transitoire à ne pas dépasser sur une période de 8 heures dans les locaux à pollution spécifique de 7 mg/m³, en vigueur jusqu'au 1^{er} juillet 2023.
6. Concentration moyenne transitoire à ne pas dépasser sur une période de 8 heures dans les locaux à pollution spécifique de 3,5 mg/m³, en vigueur jusqu'au 1^{er} juillet 2023.

FT : fiche toxicologique (INRS). **VINR** : VLEP indicative non réglementaire. **VRC** : VLEP réglementaire contraignante. **C1B** : cancérigène de catégorie 1B. **C2** : cancérigène de catégorie 2. **M2** : mutagène de catégorie 2. **Peau** : risque de pénétration percutanée. **CMR** : cancérigène, mutagène ou reprotoxique.

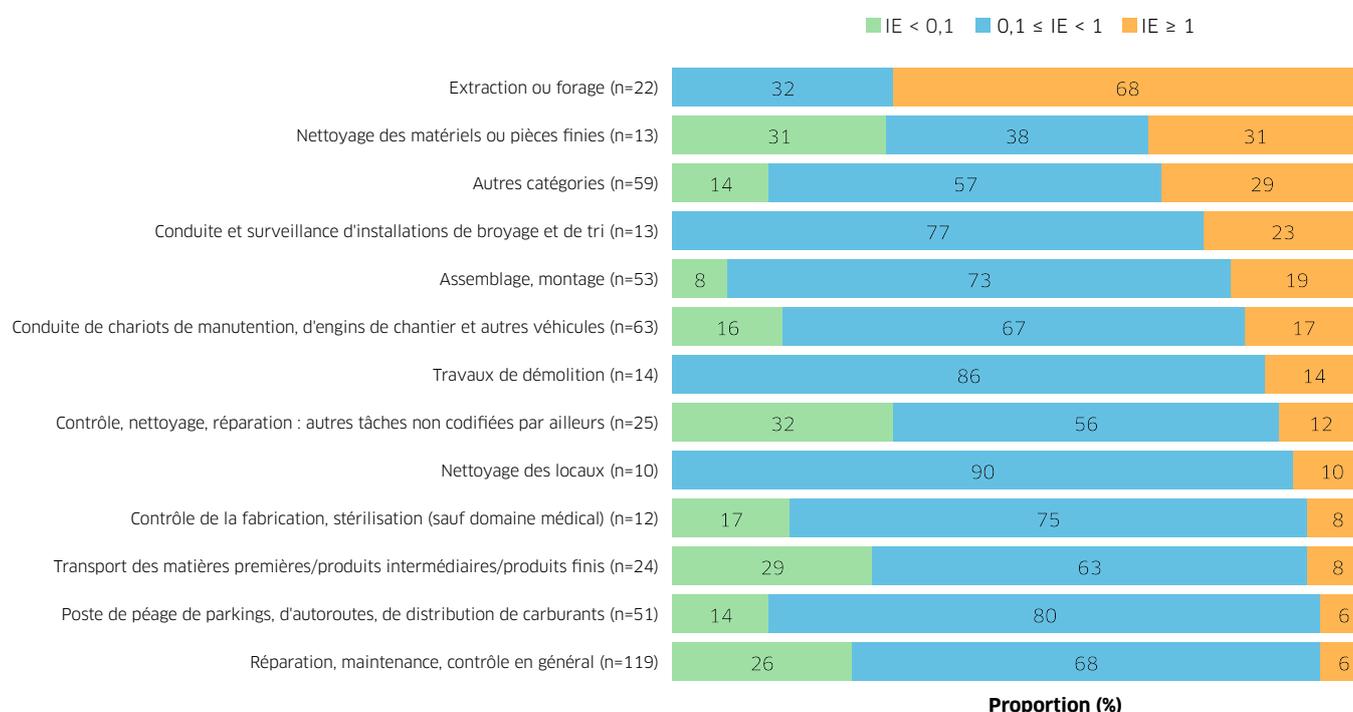
↑ TABLEAU 1 Liste de valeurs limites d'exposition et de concentrations moyennes à ne pas dépasser modifiées par arrêté ou décret, et comparaison avec les anciennes valeurs limites en vigueur.

SUBSTANCE	TYPE DE VLEP	NB DE MESURES	% < LQ	CONCENTRATION (mg/m ³)		ANCIENNE VLEP (mg/m ³)		NOUVELLE VLEP (mg/m ³)	
				MÉDIANE	95 ^E CENTILE	VLEP	% > VLEP	VLEP	% > VLEP
1,2-Dichloroéthane	8h	4	100 %						
2-Éthylhexane-1-ol	8h	8	100 %						
Acétate d'isobutyle	8h	121	30 %	1,4	25	710	0 %	241	0 %
	CT	4	50 %						
Acétate de n-butyle	8h	1231	28 %	1,9	44	710	0 %	241	<1 %
	CT	130	30 %	2	130	940	0 %	723	0 %
Alcool isoamylique	8h	3	100 %						
Béryllium	8h	211	82 %	0,00002	0,001	0,002	1 %	0,0002*	19 %
Cadmium	8h	497	80 %	0,0011	0,0062	0,004	9 %	0,001	52 %
Cumène	8h	129	45 %	0,11	0,65	100	0 %	50	0 %
	CT	44	59 %	0,08	0,80	250	0 %	250	0 %
Épichlorhydrine	8h	1	100 %						
Particules diesel, carbone élémentaire	8h	478	33 %	0,017	0,12			0,05	17 %
Trichloroéthylène	8h	94	39 %	0,43	67	405	0 %	54,7	7 %
Triméthylamine	8h	15	33 %	1,4	41			4,9	27 %

Types de VLEP : 8 h : VLEP sur 8 heures. CT : VLEP court terme. LQ : limite de quantification.

*Pour la VLEP-8h transitoire de 0,0006 mg/m³ en vigueur jusqu'au 11 juillet 2026, la proportion de mesures dépassant cette valeur est de 8 %.

↑ **TABLEAU 2** Nombre de mesures identifiées dans la base Colchic, stratifiées par type de VLEP, médiane et 95^e centile des concentrations, et proportion des mesures dépassant l'ancienne et la nouvelle VLEP par substance.



↑ **FIGURE 1** Distribution des indices d'exposition (IE) par tâche pour les fumées d'échappement de moteurs diesel.



et la fabrication d'articles en papier ou en carton (19 mesures), ces derniers dans le cadre de tâches de collage ou de sérigraphie. Pour le cumène, 36 des 94 mesures ayant pour objectif la comparaison à une VLEP-8h provenaient des secteurs de la collecte et du traitement des déchets non dangereux, tandis que les mesures associées à une VLEP-CT provenaient des secteurs de la fabrication de peintures, vernis, encres et mastics (35 mesures) et de l'édition de journaux (9 mesures). Aucune mesure enregistrée ne dépassait la VLEP-8h ni la VLEP-CT. Finalement, pour la triméthylamine, tous les dépassements de la nouvelle VLEP-8h provenaient du secteur de la fonderie de fonte.

Discussion

L'exploitation des données de la base Colchic a permis d'observer des impacts contrastés des changements dans les VLEP entre les substances. Pour l'acétate de *n*-butyle, l'acétate d'isobutyle et le cumène, les proportions de mesures dépassant les VLEP étaient très faibles et l'abaissement des valeurs n'a pas eu d'incidence marquée, tandis qu'une augmentation de 13 % des dépassements est observée avec le trichloroéthylène. Pour cette dernière substance, la comparaison avec une précédente analyse portant sur la période 2003-2010 [3] montre une tendance à la baisse des concentrations, avec un 95^e centile de 67 mg/m³ entre 2012 et 2021, comparativement à 335 mg/m³ entre 2003 et 2010.

Le béryllium et le cadmium sont également associés à une augmentation des proportions de mesures dépassant la VLEP suivant les modifications réglementaires. Il demeure toutefois important de souligner que la mise en application de ces nouvelles VLEP ne s'effectuera pas avant 2026 pour le béryllium, et 2027 pour le cadmium. Pour le béryllium, la valeur du 95^e centile de 1 µg/m³ observée sur la période 2012-2021 est inférieure au 90^e centile de 4 µg/m³ obtenu pour les prélèvements représentatifs sur 8 heures dans une campagne de mesures

réalisée entre 2004 et 2006 dans les entreprises françaises [4]. Dans le cas du cadmium, l'interprétation de la proportion de mesures supérieures à la nouvelle VLEP (52 %) est limitée par la forte proportion de mesures sous la LQ (80 %). En conséquence, il est plausible que la proportion de dépassements de la nouvelle VLEP-8h soit surestimée. Dans le cadre de la mise en application de ces nouvelles VLEP, il conviendra pour les laboratoires de mettre en place les bonnes pratiques de prélèvement et d'adapter le développement analytique⁹ permettant d'atteindre une LQ sous les 10 % de la VLEP.

Pour les émissions de diesel, le dépassement de la VLEP était plus élevé dans les secteurs de l'extraction et du forage. Cette observation d'une exposition plus élevée en milieu souterrain est cohérente avec les données de la littérature [5] et peut expliquer la date d'introduction différée de la VLEP pour ces secteurs spécifiques. Il est à noter toutefois que le nombre de mesures disponibles pour ces secteurs était relativement faible, ce qui limite l'évaluation de facteurs tels le type de lieu de travail et les moyens de protection mis en œuvre sur les niveaux d'exposition.

En conclusion, cette analyse indique que certains agents sont plus impactés que d'autres par les changements de VLEP ayant eu lieu en 2021. L'interprétation des tendances observées doit toutefois prendre en compte les particularités propres aux dates d'application des nouvelles VLEP, notamment lorsque ces dates sont différenciées en fonction du secteur d'activité ou de tâches spécifiques. ●

1. Décret n° 2021-434 du 12 avril 2021 fixant des valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes pour certains agents chimiques. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr.

2. Arrêté du 3 mai 2021 fixant des valeurs limites d'exposition professionnelle indicatives pour certains agents chimiques. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr.

3. Directive (UE) n° 2019/130 du Parlement européen et du Conseil du 16 janvier 2019 portant modification de la directive n° 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail. Accessible sur : www.eur-lex.europa.eu/.

4. Décret n° 2021-1849 du 28 décembre 2021 fixant des valeurs limites d'exposition professionnelle contraignantes pour certains agents chimiques. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr.

5. Arrêté du 9 décembre 2021 fixant des valeurs limites d'exposition professionnelle indicatives pour certains agents chimiques. Accessible sur : www.legifrance.gouv.fr.

6. Directive (UE) n° 2019/983 du Parlement européen et du Conseil du 5 juin 2019 modifiant la directive n° 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail. Accessible sur : www.eur-lex.europa.eu/.

7. Directive (UE) n° 2019/1831 du Parlement européen et du Conseil du 24 octobre 2019 modifiant la directive n° 2004/37/CE concernant la protection des travailleurs contre les risques liés à l'exposition à des agents cancérigènes ou mutagènes au travail. Accessible sur : www.eur-lex.europa.eu/.

8. Base de données MétroPol, développée par l'INRS sur les méthodes de métrologie des polluants. Accessible sur : www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html.

9. Guide méthodologique MétroPol. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/publications/bdd/metropol.html>.

BIBLIOGRAPHIE

[1] SAUVÉ J.F., MATER G. – Portrait de l'exposition professionnelle aux substances chimiques visées par la mise à jour des VLEP réglementaires contraignantes. *Hygiène & sécurité du travail*, 2021, 262, pp. 70-75. Accessible sur : www.hst.fr.

[2] SAUVÉ J.F., MATER G. – Portrait des expositions aux poussières inhalables et alvéolaires mesurées entre 2014 et 2018. *Hygiène & sécurité du travail*, 2020, 258, pp. 74-79.

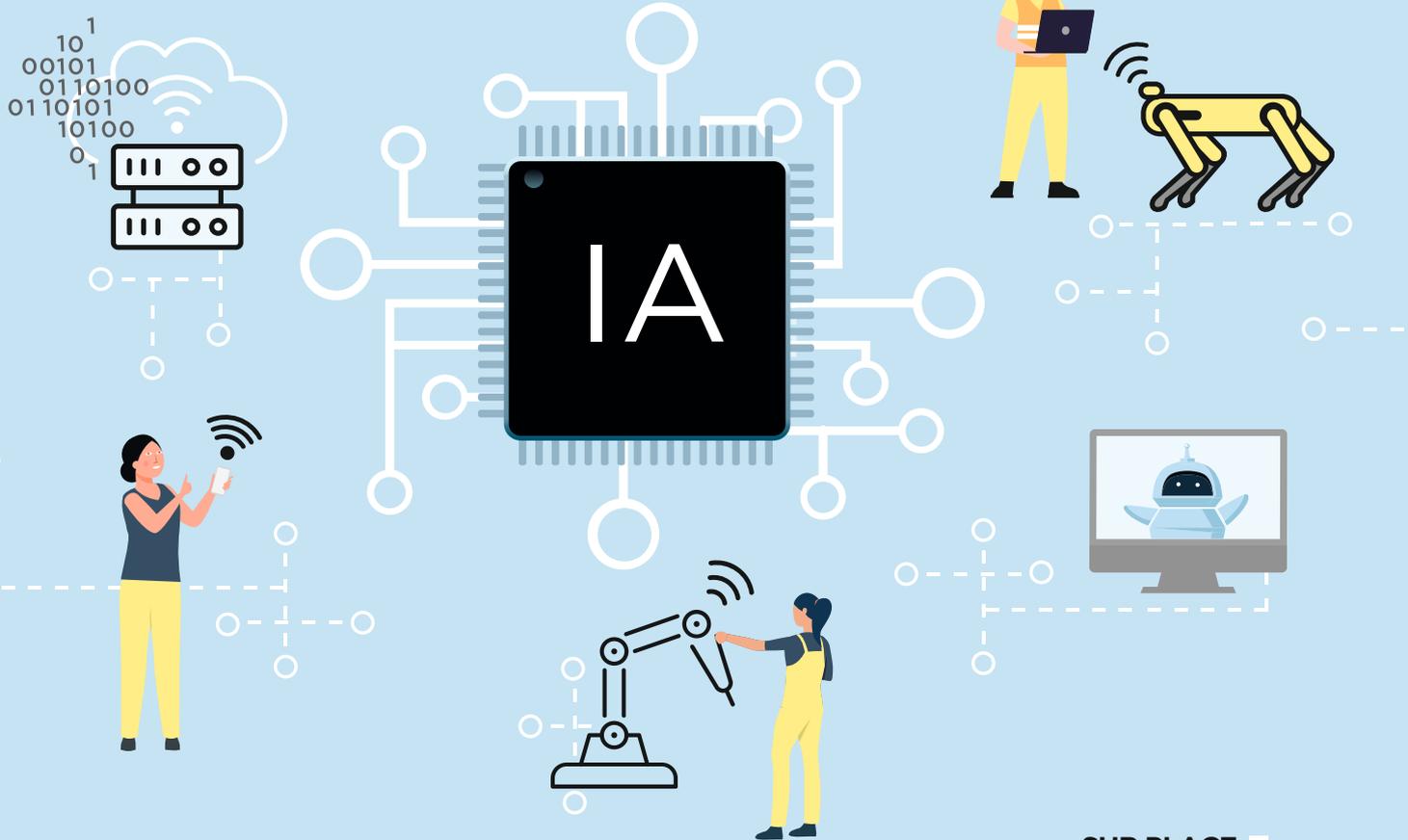
[3] BERTRAND N., CLERC F. – Panorama des expositions professionnelles à des composés organiques volatils entre 2003 et 2010. *Hygiène & sécurité du travail*, 2011, 225, pp. 31-44.

[4] VINCENT R., CATANI J. ET AL. – Exposition professionnelle au béryllium dans les entreprises françaises. Évaluation des niveaux d'exposition atmosphérique et de contamination surfacique. *Hygiène & sécurité du travail*, 2010, 220, pp. 53-62.

[5] IARC WORKING GROUP ON THE EVALUATION OF CARCINOGENIC RISKS TO HUMANS – Diesel and gasoline engine exhausts and some nitroarenes. IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, 2014, vol. 105, 9.

L'INTELLIGENCE ARTIFICIELLE

au service de la santé et de la sécurité au travail,
enjeux et perspectives à l'horizon 2035



18 novembre 2022

Maison de la RATP

Espace du Centenaire - 189 rue de Bercy - 75012 Paris

**SUR PLACE
ET EN DIRECT
SUR INTERNET**
INSCRIPTION
OBLIGATOIRE

Portée par de récents progrès technologiques, l'intelligence artificielle est d'ores et déjà plus qu'un objet de recherche et de science-fiction. Elle est entrée dans nos vies personnelles et professionnelles et elle y jouera probablement un rôle important dans le futur.

Dans le cadre de son activité de prospective, l'INRS a animé une réflexion collective visant à explorer comment des systèmes mobilisant de l'intelligence artificielle pourraient être utilisés afin d'améliorer la santé et la sécurité au travail à l'horizon 2035. Quelles

sont les opportunités et menaces pour la prévention des risques professionnels ? Dans quels domaines des avancées sont-elles possibles ? A quelles conditions ? Comment les acteurs peuvent-ils se préparer ?

Cette journée de restitution s'adresse aux acteurs de la santé et sécurité au travail (chargés de prévention, personnels des services de prévention et de santé au travail, chefs d'entreprise, représentants du personnel, chercheurs), aux décideurs et aux développeurs, intégrateurs de solutions technologiques en entreprise.

INSCRIPTION SUR : intelligenceartificielle2022.inrs.fr

CONTACT : intelligenceartificielle2022@inrs.fr



Agenda & services

Congrès

Agenda/Congrès

P. 79

Formation

Les formations 2023 à la santé
et sécurité au travail

P. 82

Agenda/Formations

P. 84

Sélection bibliographique

À lire, à voir

P. 86

AGENDA/CONGRÈS

EN RAISON DE LA PANDÉMIE DE COVID-19,
CERTAINES DATES SONT SUSCEPTIBLES D'ÊTRE REPORTÉES.
VÉRIFIEZ AUPRÈS DE LEURS ORGANISATEURS QUE LES RENDEZ-VOUS PROGRAMMÉS SONT MAINTENUS.

Climate Change meets Occupational Safety and Health

**17 OCTOBRE 2022, DRESDE
(ALLEMAGNE)**

**Le changement climatique rencontre
la sécurité et la santé au travail**

L'Institut fédéral pour la sécurité et la santé au travail allemand (BAuA) et les instituts de l'assurance sociale allemande contre les accidents (DGUV) organisent un congrès sur le changement climatique et ses implications pour la sécurité et la santé au travail sur les thèmes :

- chaleur, rayonnement UV et exposition solaire, conditions météorologiques extrêmes ;
- propagation de maladies infectieuses et de pollens allergènes ;
- décarbonation de l'économie, économie circulaire, énergies alternatives ;
- stratégies et ressources psychologiques face au changement climatique.

Renseignements - Inscriptions :

+ <https://dguv.de/g7-osh/index-2.jsp>



17 AU 20 OCTOBRE, FRANCE

**7^e édition de la Semaine
de la santé auditive au travail**

Cette manifestation aura pour thème « Comment améliorer les conditions de travail ». La Semaine de la santé auditive au travail s'adresse aux acteurs de la santé, de la prévention et de la sécurité au travail. Elle vise à sensibiliser et à inciter les

entreprises à se mobiliser pour prévenir les risques professionnels liés au bruit.

Renseignements :

+ <https://www.sante-auditive-autravail.org/>



20 OCTOBRE 2022, PARIS

**Artificial intelligence meets safety and health
at work - Conférence Euroshnet**

Devant l'émergence des technologies d'intelligence artificielle (IA) au sein des entreprises de tous secteurs, le réseau Euroshnet, qui regroupe une quinzaine d'instituts européens de recherche sur la santé au travail, souhaite aborder les questions de confiance, de contrôle, d'éthique, de responsabilité juridique et de fiabilité technique de ces systèmes. La réussite de la mise en place d'une IA et de son utilisation en parallèle des activités humaines nécessite d'analyser ses conséquences potentielles sur la santé et la sécurité des travailleurs. La réglementation encadre son intégration en entreprise et la normalisation contribue à améliorer les opportunités de progrès apportées par l'IA et à réguler les risques liés à cette technologie.

Cette conférence abordera les rôles que jouent la normalisation dans la régulation de ces risques et l'amélioration de ces opportunités.

Renseignements - Inscriptions :

+ <https://www.euroshnet.eu/conference-2022>





20 ET 21 OCTOBRE 2022, ROUBAIX (FRANCE)

20^e édition du Colloque Aderest

Le colloque scientifique de l'Association pour le développement des études et recherches épidémiologiques en santé au travail (Aderest) réunit des chercheurs en épidémiologie des risques professionnels, des enseignants de médecine et santé au travail, des professionnels des agences sanitaires chargées des risques professionnels, des médecins du travail, des infirmiers de santé au travail, des intervenants en prévention des risques professionnels, ainsi que des étudiants en santé au travail et en santé publique. Il présentera les dernières études épidémiologiques menées en France dans le domaine de la santé au travail en faisant interagir experts et équipes de santé au travail tout au long de la programmation.

Renseignements - Inscriptions :

[+ https://www.aderest.org/index](https://www.aderest.org/index)



8 ET 9 NOVEMBRE 2022, LYON (FRANCE)

13^{es} Rencontres des personnes compétentes en radioprotection

La Société française de radioprotection organise une nouvelle édition des Rencontres des personnes compétentes en radioprotection (PCR). Durant deux jours, une table ronde et des ateliers permettront notamment de faire un point sur l'actualité réglementaire impactant le quotidien des PCR.

Renseignements :

[+ https://www.pcr2022.fr](https://www.pcr2022.fr)



18 NOVEMBRE 2022, PARIS

L'intelligence artificielle au service de la santé et de la sécurité au travail

Portée par les progrès technologiques de ces dernières années, l'intelligence artificielle (IA) est d'ores et déjà plus qu'un objet de recherche et de science-fiction. Elle entre progressivement dans nos vies personnelles et professionnelles où elle semble amenée à jouer un rôle important dans le futur. Dans le cadre de son activité de prospective, l'INRS a animé une réflexion collective visant à explorer comment des systèmes mobilisant de l'intelligence artificielle pourraient être utilisés à des fins d'amélioration de la santé et de la sécurité au travail à l'horizon 2035. Il s'agissait d'explorer différentes questions que posent les usages de ces systèmes d'IA. Quelles sont les opportunités et menaces pour la prévention des risques professionnels ? Dans quels domaines des avancées sont-elles possibles ? À quelles conditions ? Comment les acteurs peuvent-ils se préparer ? Les résultats de ces travaux seront présentés et discutés lors de cette journée de restitution de l'exercice de « prospective IA ». Les publics ciblés sont nombreux : acteurs de la santé et sécurité au travail (chargés de prévention, personnels des services de prévention et de santé au travail, chefs d'entreprise, représentants du personnel, chercheurs), décideurs et développeurs, intégrateurs de solutions technologiques, etc. Il sera possible d'assister sur place à, ou de suivre en direct sur Internet, cette journée de restitution.

Renseignements - Inscriptions :

[+ https://intelligenceartificielle2022.inrs.fr](https://intelligenceartificielle2022.inrs.fr)



22 NOVEMBRE 2022, PARIS

Journée technique - Batteries lithium : tous utilisateurs, tous acteurs de la prévention

La place des batteries au lithium dans les équipements mobiles (téléphone, ordinateur, outillage, engin...), les transports électriques (trottinette, vélo, voiture...) et le stockage d'énergies renouvelables a très fortement

augmenté ces dernières années.

À chaque étape de son cycle de vie (fabrication, transport, stockage, utilisation, collecte et recyclage), une batterie au lithium expose les travailleurs à différents risques professionnels.

Cet événement est destiné aux employeurs, médecins du travail, personnels hygiène sécurité environnement (HSE).

Renseignements - Inscriptions :

[+ https://batterieslithium2022.inrs.fr](https://batterieslithium2022.inrs.fr)



24 NOVEMBRE 2022, 11 H

Industrie du futur : quel impact sur la prévention des risques professionnels ?

Reposant sur l'intégration des nouvelles technologies, notamment numériques, dans l'ensemble de la chaîne de production, l'industrie du futur modifie l'activité des salariés, les collectifs de travail et, de façon plus générale, l'organisation du travail. Cela n'est pas sans conséquences en matière de prévention de la santé et de la sécurité au travail.

Ce webinaire, organisé par l'INRS, s'adresse aux acteurs de la prévention des risques professionnels (chargés de prévention, services de santé au travail, employeurs) et propose une analyse des impacts de ces mutations en s'intéressant à trois transformations majeures :

- l'utilisation croissante des technologies de production avancées ;
- la numérisation (digitalisation) des postes de travail ;
- l'accroissement de la flexibilité.

Inscriptions :

[+ https://attendee.gotowebinar.com/register/5374308805792754190](https://attendee.gotowebinar.com/register/5374308805792754190)

POUR EN SAVOIR +

- *L'agenda complet des rencontres recensées par l'INRS est accessible sur : www.inrs.fr/footer/agenda.html.*



28 NOVEMBRE 2022, PARIS

15^e journée nationale de l'Afisst – Impact de la réforme sur les pratiques des préventeurs en services de prévention et santé au travail

La dernière réforme de la santé au travail vient questionner et remanier les pratiques professionnelles des intervenants en prévention et en santé au travail (ASST, technicien en prévention, ergonomiste, psychologue du travail, toxicologue, ingénieur en prévention, etc.).

Cette journée aura notamment pour but d'apporter des éléments de réponses aux nouvelles questions qui se posent aujourd'hui :

- comment les pratiques évoluent et vont évoluer ?
- quels ajustements sont prévus et seront à prévoir au niveau organisationnel ?
- quels outils et méthodes sont à construire ?

Renseignements - Inscriptions :

[+ https://www.afisst.fr/15eme-journee-nationale-de-lafisst/](https://www.afisst.fr/15eme-journee-nationale-de-lafisst/) | "more-4580



8 DÉCEMBRE 2022, PARIS

Journée technique – Aérosols semi-volatils : mesurer, connaître et réduire les expositions

De nombreux salariés sont exposés à des composés présents dans l'air, à la fois sous forme de vapeur et de particules. Le peu de données toxicologiques, les difficultés de la mesure et le manque de solutions de prévention rendent complexe la prise en compte de ces aérosols semi-volatils pour l'évaluation du risque chimique par les entreprises.

Cette journée s'adresse aux chargés de prévention, personnels des services de prévention et de santé au travail (IPRP, HSE), chefs d'entreprise, médecins du travail, spécialistes de la mesure des expositions professionnelles. Des experts et des professionnels impliqués dans la prévention des risques liés à ces aérosols présenteront des solutions récentes de mesure et d'identification de ces aérosols. Seront également abordées les solutions de réduction des émissions permettant d'améliorer la qualité de l'air des lieux de travail.

Renseignements - Inscriptions :

[+ https://aerosols-semivolatils2022.inrs.fr](https://aerosols-semivolatils2022.inrs.fr)

Formation

LES FORMATIONS 2023 À LA SANTÉ ET SÉCURITÉ AU TRAVAIL

L'INRS propose chaque année aux entreprises et aux salariés du régime général de la Sécurité sociale une offre de formations à la prévention des risques professionnels. Cette offre s'adresse à des publics qui cherchent à développer ou à perfectionner leurs connaissances en santé et en sécurité au travail.

TRAINING IN OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY 2023 – Every year, INRS offers training to companies adhering to the general Social Insurance regime and their workers. The catalogue includes a range of courses dedicated to the prevention of occupational risks. The training offered is aimed at those seeking to develop or perfect their occupational health and safety knowledge.

GÉRARD
MOUTCHE
INRS,
département
Formation

L'INRS a pour mission de développer et de promouvoir une culture de prévention des accidents du travail et des maladies professionnelles, au travers de quatre modes d'action complémentaires, dont la formation fait partie intégrante¹. L'INRS a développé un ensemble de formations relatives à la prévention des risques professionnels, depuis les fondamentaux de la prévention jusqu'aux risques et secteurs spécifiques, en passant par les démarches, méthodes et outils nécessaires à la mise en œuvre de bonnes pratiques de prévention. Ces formations sont destinées aux entreprises du régime général et à leurs salariés. L'offre de formation de l'INRS s'adresse à différents publics :

- les services de prévention et de santé au travail (médecins, infirmiers du travail, autres fonctions : ergonomes, psychologues du travail, etc.) ;
- les préventeurs et les spécialistes de la prévention en entreprise ;
- les formateurs d'organismes de formation et d'entreprises, en tant que relais ;
- les responsables des ressources humaines et les managers ;
- et plus largement, les salariés du régime général de la Sécurité sociale.

Les nouveaux stages proposés par l'INRS en 2023

- Un nouveau stage est proposé aux préventeurs exerçant en entreprise ou en service de prévention et de santé au travail, sur le thème de la prévention des risques liés aux machines et aux équipements de travail : « Identifier les étapes clés d'une démarche de prévention des risques liés aux machines »

(Réf. JJ1606). L'objectif est, à l'issue du stage, de pouvoir contribuer à la mise en œuvre d'une démarche de prévention des risques liés aux machines, en identifiant les étapes du cycle de vie d'une machine et en appréhendant le contexte réglementaire applicable.

• Dans le cadre du déploiement de la nouvelle démarche de prévention des risques liés à l'activité physique – Prap-2S (secteur sanitaire et médico-social) engagée depuis deux ans, l'INRS complète les formations certifiantes par un stage de maintien et d'actualisation des compétences des formateurs de formateurs Prap du secteur sanitaire et médico-social. Le dispositif est maintenant complet, et les formations se déclinent aux différents niveaux, jusqu'à l'acteur Prap-2S qui met en œuvre la démarche « *Accompagnement de la mobilité de la personne aidée, en prenant soin de l'autre et de soi* » (ALM). Il s'agit d'une démarche qui permet l'accompagnement d'un patient, d'un résident ou d'un bénéficiaire lors d'un déplacement (changer de position dans le lit pour recevoir un soin, se lever pour aller aux toilettes, s'asseoir pour prendre son repas...), sans réaliser un portage potentiellement délétère pour le soignant.

• Confrontés au risque de chutes de hauteur, qui reste très présent dans les entreprises, l'INRS, l'Assurance maladie – Risques professionnels et le Syndicat français de l'échafaudage, du coffrage et de l'étalement (SFECE) se sont associés et ont élaboré en 2017 des référentiels de formation adaptés à la prévention de ce risque, pour en confier la mise en œuvre à des organismes de formation, au travers d'un système d'habilitation. Ces référentiels de formation ont naturellement été construits en s'appuyant sur les recommandations R 408² et R 457³ de la Cnam. Dans un

premier temps, l'INRS a mis en place un processus de reconnaissance des formateurs spécialisés dans la prévention des risques liés au montage, au démontage et à l'utilisation des échafaudages de pied et des échafaudages roulants.

En 2023, l'INRS met en place un système de certification des « formateurs échafaudages ». Ainsi, ces derniers, souhaitant intervenir pour former des salariés dans le cadre de l'habilitation, seront amenés à passer des épreuves certificatives, à l'instar des autres dispositifs conçus par l'INRS et l'Assurance maladie – Risques professionnels.

- Un stage a été créé pour les médecins du travail, sur le thème « *Évaluer et prévenir les risques pour la reproduction* » (Réf. BB1540). Certains facteurs professionnels peuvent en effet altérer la fertilité masculine ou féminine, et entraîner des issues de grossesse défavorables (avortements, prématurité, malformations...). L'objectif de cette formation est d'apporter des connaissances aux médecins du travail, afin que ces derniers puissent conseiller les employeurs en ce qui concerne les facteurs professionnels et les expositions aux risques pouvant affecter la reproduction, ainsi que les mesures de prévention à mettre en œuvre. Le médecin du travail doit aussi pouvoir informer les salariés et prendre les mesures nécessaires pour les soustraire à ces risques. De multiples facteurs professionnels sont susceptibles d'engendrer des effets sur la reproduction, comme certains agents chimiques ou biologiques, les rayonnements ionisants, le port de charges, le travail debout statique prolongé, le bruit, le stress, les horaires irréguliers ou de nuit. Le stage se conclut par la démarche de prévention à adopter, en tenant compte de toutes les spécificités de ce risque.

Des formations adaptées aux nouvelles pratiques et organisations

Dorénavant, l'INRS propose certaines formations, auparavant en présentiel, au format distanciel. Elles sont organisées avec le support de plateformes de type « classes virtuelles », elles sont animées par des intervenants experts, et elles sont coordonnées par un responsable pédagogique. Ces classes virtuelles contiennent des activités d'apprentissage comme des exposés autour des apports notionnels fondamentaux, des travaux de groupe sur des études de cas, ou encore des échanges de pratiques professionnelles. Des contenus complémentaires (supports de formation, quiz) sont mis à disposition des apprenants durant la formation.

En 2023, l'INRS propose plusieurs formations pour les préventeurs au format distanciel :

- « *Mettre en œuvre une démarche de prévention à l'aide de l'évaluation de l'exposition aux agents chimiques dangereux* » (Réf. CC1504) ;
- « *Mesurer la concentration en fibres d'amiante sur les lieux de travail* » (Réf. CJ0701) ;

- « *Participer à une démarche de prévention des risques psychosociaux* » (Réf. N12002) ;
- « *Prévenir les risques liés aux pratiques addictives en milieu professionnel* » (Réf. RU1101).

Et plusieurs sessions de maintien et d'actualisation des compétences des formateurs en prévention des risques liés à l'amiante sont également organisées en distanciel.

Il faut distinguer le format nommé « distanciel » des formations dites « tutorées à distance », qui existent depuis plusieurs années dans l'offre de formation de l'INRS, et qui reposent essentiellement sur des apports de contenus dont l'apprenant fait l'acquisition à son rythme, à partir d'une plateforme de formation dédiée, avec l'accompagnement ponctuel d'un tuteur pédagogique.

Il est utile de rappeler que l'INRS propose aussi en accès libre deux autoformations conçues pour les salariés du régime général désirant acquérir des connaissances de base en santé et sécurité au travail. Les séquences sont composées d'un contenu interactif en ligne : fictions animées, écrans d'information, exercices autoévaluatifs, témoignages de professionnels. En cas de réussite à l'évaluation finale, une attestation est téléchargeable par l'apprenant.

La formation « *Acquérir les bases en prévention des risques professionnels* » permet d'acquérir des connaissances de base en santé et sécurité au travail. Elle est adaptée à tout public désireux de développer ses connaissances en la matière.

La formation « *Acquérir les notions de base sur les produits chimiques* » s'adresse à toute personne souhaitant acquérir des connaissances de base sur les produits chimiques.

À noter pour les formations à distance : si le projet de formation s'inscrit dans le plan de formation de l'entreprise, il doit être suivi de préférence pendant le temps de travail. L'INRS invite donc les salariés concernés et intéressés à se rapprocher de leur employeur pour organiser au mieux ce temps de formation. ●

1. Les trois autres modes d'action de l'INRS sont : l'information ; l'expertise et l'assistance aux salariés et aux entreprises ; et les études et recherches au service de la prévention des risques professionnels.

2. Cf. Recommandation R 408 de la Cnam – Montage, utilisation et démontage des échafaudages de pied.

3. Cf. Recommandation R 457 de la Cnam – Prévention des risques liés au montage, au démontage et à l'utilisation des échafaudages roulants.

Accessibles sur : <https://www.ameli.fr/entreprise/sante-travail/prevention/recommandations>.

POUR EN SAVOIR +

- Comment s'inscrire à une formation INRS ? Le catalogue « Formations en santé et sécurité au travail 2023 » de l'INRS est disponible sous format électronique sur le site web de l'INRS. Accessible sur : <https://www.inrs.fr/services/formation.html>.

AGENDA / FORMATIONS

COMPTE TENU DE L'ÉVOLUTION DE LA PANDÉMIE DE COVID-19,
CERTAINES DATES SONT SUSCEPTIBLES D'ÊTRE MODIFIÉES.
VÉRIFIEZ AUPRÈS DE L'INRS QUE LES RENDEZ-VOUS PROGRAMMÉS SONT MAINTENUS.

Conduire une démarche de prévention des troubles musculosquelettiques (BI2131)

Une session : du 12/12/2022 début d'après-midi au 16/12/2022 à midi

→ PUBLIC

Professionnels des services de prévention et de santé au travail (médecins du travail, intervenants en prévention des risques professionnels (IPRP), infirmiers du travail...) sollicités dans des actions de prévention des troubles musculosquelettiques (TMS) en entreprise.

→ OBJECTIFS

Déployer une démarche de prévention des TMS en pluridisciplinarité.

Objectifs pédagogiques :

- partager une analyse de la problématique au sein de l'équipe pluridisciplinaire du SST ;
- proposer collectivement une démarche de prévention des TMS et accompagner l'entreprise ;
- situer les différents niveaux d'action possibles d'un SST dans la prévention des TMS et identifier des pistes pour dépasser une question ou une difficulté rencontrée dans le cadre de sa pratique.

→ CONTENU

- apport de connaissances : enjeux et réalité des TMS ; étiologie et caractéristiques des principales pathologies ; effets et conséquences des TMS sur la santé des salariés et le fonctionnement de l'entreprise ; facteurs de risques et déterminants à l'origine de la survenue des TMS (approche multifactorielle) ;
- différentes étapes et conditions de réussite d'une démarche de prévention des TMS ;
- outils et méthodes disponibles et leur place dans la démarche de prévention : positionnement de l'entreprise ; repérage du risque ; choix des situations à analyser ; évaluation du risque ; analyse des situations de travail ;
- différentes modalités d'action d'un SST dans le modèle de prévention des TMS ;
- conditions de mise en œuvre de la pluridisci-

plinarité et construction d'une stratégie d'action collective.

→ RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

Durée : 28 heures

Lieu : Paris

Responsable pédagogique : Alexandre Vasselín
Secrétariat, renseignements, inscriptions :

INRS, Département Formation
65, boulevard Richard-Lenoir
75011 Paris

E-mail : secretariat.forp@inrs.fr

Coût : 1 161 € nets (exonération de TVA).

Évaluer et prévenir les risques liés aux champs électromagnétiques (CEM) (JJ0530)

Une session : du 18/10/2022 au 20/10/2022

→ PUBLIC

Acteurs des services de prévention et de santé au travail, fonctionnels « sécurité et santé au travail » et intervenants en prévention des risques professionnels.

→ OBJECTIFS

Identifier les situations d'exposition aux CEM en milieu professionnel et en évaluer les risques pour les travailleurs exposés.

Objectifs pédagogiques :

- actualiser les connaissances sur les champs électromagnétiques ;
- mettre en place une démarche d'évaluation des risques liés aux champs électromagnétiques ;
- proposer des mesures de prévention et accompagner leur mise en œuvre en entreprise.

→ CONTENU

- généralités sur les champs électromagnétiques ;
- les effets avérés sur la santé : bref résumé ;
- contexte réglementaire ;
- démarche de prévention.

→ RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

Durée : 21 heures

Lieu : Vandœuvre-lès-Nancy

Responsable pédagogique : Amine Fatmi
Secrétariat, renseignements, inscriptions :

INRS, Département Formation
65, boulevard Richard-Lenoir
75011 Paris

E-mail : secretariat.forp@inrs.fr

Coût : 871 € nets (exonération de TVA).

Évaluer et améliorer l'éclairage des lieux de travail (JJ0531)

Une session : du 12/12/2022 au 15/12/2022

→ PUBLIC

Acteurs des services de prévention et de santé au travail.

→ OBJECTIFS DE FORMATION

Améliorer l'ambiance lumineuse sur les lieux de travail.

Objectifs pédagogiques :

- intégrer les principes de l'ambiance lumineuse et de sa perception ;
- évaluer la qualité d'un éclairage du poste de travail ;
- proposer des mesures d'amélioration de l'ambiance lumineuse au poste du travail.

→ CONTENU

- lumière et éclairage : données physiques, grandeurs et unités ;
- contexte réglementaire ;
- méthodologie d'évaluation de la qualité d'un éclairage : mesures d'éclairage, mesures de luminance ;
- sources de lumière et luminaires : les différentes sources de lumière (caractéristiques, performances, applications), les luminaires : caractéristiques et applications ;
- les mesures d'amélioration de l'ambiance lumineuse : préconisations et retours d'expérience.

→ RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

Durée : 24,5 heures

Lieu : Vandœuvre-lès-Nancy

Responsable pédagogique : Amine Fatmi
Secrétariat, renseignements, inscriptions :

INRS, Département Formation
65, boulevard Richard-Lenoir
75011 Paris

E-mail : secretariat.forp@inrs.fr

Coût : 1016 € nets (exonération de TVA).

Devenir formateur en prévention des risques chimiques (FF1530)

- Deux sessions à Paris :
du 03/10/2022 début d'après-midi
au 07/10/2022 à midi et du 22/11/2022
au matin au 22/11/2022 au soir

- du 03/10/2022 début d'après-midi
au 07/10/2022 à midi et du 23/11/2022
au matin au 23/11/2022 au soir

→ PUBLIC

Tout formateur spécialisé en prévention des risques liés aux agents chimiques dangereux, dont les agents cancérigènes, mutagènes, toxiques pour la reproduction (CMR).

→ OBJECTIFS

Devenir formateur en prévention des risques chimiques.

Objectifs pédagogiques :

construire, réaliser et animer des séquences de formation sur la prévention des risques chimiques à destination de chefs d'entreprise (TPE/PME) et de référents risque chimique, selon le référentiel proposé par l'INRS.

Remarque : Des sessions d'épreuves certificatives directes sont organisées pour des formateurs ayant suivi le cursus de l'INRS FF1530 (ex C049) « Devenir formateur à la prévention des risques chimiques » ou bien disposant d'une expérience équivalente (Cf. conditions sur : www.inrs.fr).

→ CONTENU

- présentation du référentiel ;
- rappel des fondamentaux relatifs à la prévention du risque chimique ;
- construction de séquences de formation à destination des différents publics (chefs d'entreprise de TPE/PME et référents risque chimique) ;
- exploitation des outils et données bibliographiques de l'INRS ;
- modalités d'évaluation des séquences de formation ;
- épreuves de certification.

→ RENSEIGNEMENTS PRATIQUES

Durée : 35 heures

Lieu : Paris

Responsable pédagogique : Gaëlle Avon
Secrétariat, renseignements, inscriptions :

INRS, Département Formation
65, boulevard Richard-Lenoir
75011 Paris

E-mail : secretariat.forp@inrs.fr

Coût : 1452 € nets (exonération de TVA).

POUR EN SAVOIR

- Retrouvez toute l'offre de formation de l'INRS sur : www.inrs.fr/services/formation.html.

Sélection bibliographique

À LIRE, À VOIR

Les publications de l'INRS sont consultables et téléchargeables sur : www.inrs.fr/Rubriques « Publications et outils / Brochures et dépliants » (papier/Web) et « Vidéos / Films et animations ».



Prévention dans les petites entreprises : deux nouvelles offres sectorielles

INRS, 2022, Offres d'information : dépliants et outils associés (*nouveautés*).

- *Culture de la banane*: ED 6464/outil n° 105 ;
- *Culture de la canne à sucre*: ED 6432/outil n° 106.

La culture de la banane et de la canne à sucre expose les salariés à des risques professionnels de différentes natures : affections cutanées, douleurs au dos et aux articulations, blessures, coupures, chutes, basculement et retournement d'engins... L'objectif de cette offre est d'aider les entreprises à prévenir les risques spécifiques liés à leurs activités.



Risques de coupure – Déballer en sécurité avec les outils adaptés

INRS, 2022, coll. Solutions de prévention, fiche ED 6480 (*Web uniquement, nouveauté*).

Cette fiche propose des recommandations pratiques pour déballer des produits en toute sécurité, afin de préserver la santé et la sécurité des salariés exposés aux risques de coupure.



Risques liés aux manutentions manuelles : trois nouvelles fiches

INRS, 2022, coll. Solutions de prévention, fiches (*Web uniquement, nouveautés*).

- *Limiter le recours aux manutentions manuelles lors des interventions sur les pneumatiques*: ED 6474 ;
- *Sécuriser les chargements et les déchargements sans quai*: ED 6486 ;
- *Limiter le recours aux manutentions manuelles des matières plastiques*: ED 6490.

Des recommandations pratiques pour limiter les manutentions manuelles lors d'interventions sont proposées dans ces fiches, afin de préserver la santé et la sécurité des salariés.



Risques chimiques – Prévenir les risques liés aux fumées de soudage des métaux

INRS, 2022, coll. Solutions de prévention, fiche ED 6484 (*Web uniquement, nouveauté*).

Cette fiche propose des recommandations pratiques pour prévenir les risques liés aux fumées de soudage des métaux, afin de préserver la santé et la sécurité des salariés exposés à ces risques.



Risques liés aux machines – Réaliser les opérations de toileage en sécurité

INRS, 2022, coll. Solutions de prévention, fiche ED 6482
(Web uniquement, nouveauté).

Des recommandations pratiques pour réaliser les opérations de toileage en sécurité sont proposées dans cette fiche, afin de préserver la santé et la sécurité des salariés.



Risques psychosociaux – Prévenir les risques de violence dans les transports de voyageurs

INRS, 2022, coll. Solutions de prévention, fiche ED 6491
(Web uniquement, nouveauté).

Cette fiche propose des recommandations pratiques pour prévenir les risques de violence dans les transports de voyageurs, pour protéger la santé et la sécurité des salariés.



Risques de brûlures – Prévenir les risques de brûlures dans les métiers de bouche et la restauration

INRS, 2022, coll. Solutions de prévention, fiche ED 6490
(Web uniquement, nouveauté).

Des recommandations pratiques sont proposées dans cette fiche pour prévenir les risques de brûlures dans les métiers de bouche et de la restauration, afin de préserver la santé et la sécurité des salariés.



Risques liés au bruit – Agir pour réduire le bruit dans les espaces d'accueil des jeunes enfants

INRS, 2022, coll. Solutions de prévention, fiche ED 6488
(Web uniquement, nouveauté).

Cette fiche propose des recommandations pratiques pour réduire le bruit dans les espaces d'accueil des jeunes enfants, afin de préserver la santé et la sécurité des salariés.



Filière des biodéchets alimentaires

INRS, 2022, coll. Démarche de prévention, fiche ED 6473 (nouveauté).

Cette brochure décrit la filière d'élimination des biodéchets, depuis les producteurs (cuisines, entreprises agroalimentaires, points de vente), en passant par les collecteurs, pour arriver aux centres de valorisation (méthanisation, compostage). Elle analyse ensuite les risques des différentes situations de travail et préconise des mesures de prévention à mettre en œuvre pour limiter ces risques.



Prendre soin de ses mains au travail pour prévenir l'eczéma

INRS, 2022, dépliant ED 6470 (nouveauté).

Ce dépliant explique comment prendre soin de ses mains et les protéger dans différentes configurations de travail, afin d'éviter la survenue d'un eczéma.





Prévenir les allergies professionnelles

INRS, 2022, dépliant ED 6469 (nouveau).

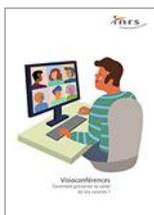
Ce dépliant s'adresse aux entreprises, tous secteurs d'activité confondus, pour les inviter à rechercher systématiquement, lors de l'évaluation des risques, les expositions potentielles à des agents sensibilisants (ou allergènes). Si un tel risque est identifié, ce dépliant rappelle tous les principes généraux de la démarche de prévention à appliquer.



Prévention des risques psychosociaux

INRS, 2022, coll. Démarche de prévention, brochure ED 6479 (nouveau).

Pour mener une démarche de prévention des risques psychosociaux, le recours à un consultant externe peut être utile. Ce guide a pour but de répondre aux interrogations sur le sujet, d'aider à clarifier les besoins, à choisir un consultant externe et à collaborer avec ce dernier.



Visioconférences. Comment préserver la santé de vos salariés ?

INRS, 2022, brochure ED 6478 (Nouveau).

Au travail, les visioconférences sont répandues. Cette brochure vous propose des repères pour prévenir les risques liés à cette pratique.



Visioconférences : les bonnes pratiques pour préserver votre santé

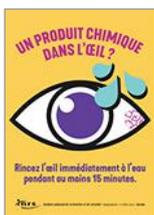
INRS, 2022, affiche AZ 881 (Web uniquement ; nouveau).

Cette affiche indique les bonnes pratiques à mettre en place lors des visioconférences.



Les troubles musculosquelettiques: en parler pour prévenir

INRS, 2022, affiche A 883 (mise à jour).



Un produit chimique dans l'œil :

rincez l'œil immédiatement à l'eau pendant au moins 15 minutes

INRS, 2022, affiche A 882 (nouveau).



HYGIÈNE ET SÉCURITÉ DU TRAVAIL (HST)

publication éditée par
l'INRS, Institut national de
recherche et de sécurité pour
la prévention des accidents
du travail et des maladies
professionnelles

65, boulevard Richard-Lenoir
75011 Paris – France
Tél.: 01 40 44 30 00
Fax: 01 40 44 31 99
Dépôt légal 3^e trimestre 2022
n° 21110765
ISSN 0007-9952
[www.inrs.fr/publications/
hst/dans-ce-numero.html](http://www.inrs.fr/publications/hst/dans-ce-numero.html)

INRS service abonnements

TBS Group
Service abonnements
Hygiène & sécurité du travail
235, avenue Le-jour-se-lève
92 100 Boulogne-Billancourt
Tél.: 01 40 94 22 22
inrs@cometcom.fr

Prix au numéro: 20,40 €
Tarifs abonnement pour
1 an/4 numéros:
France: 72 €
DOM: 78 €
TOM et Europe: 84 €
Reste du monde: 90 €

Photogravure

Keygraphic

Impression

Corlet Imprimeur
14110 Condé-sur-Noireau
France

L'autorisation de reproduire
totalement ou partiellement
des articles parus dans
Hygiène et sécurité du travail
(HST) doit être sollicitée
à l'avance et par écrit.
Toute reproduction, quel
qu'en soit le support
(à l'exception des copies
à usage interne), qui n'aurait
pas été précédée d'un accord
préalable, serait effectuée
en violation des droits
de l'éditeur.



**Retrouvez
tous les articles sur
www.hst.fr**